

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ**

Направление подготовки **Теплоэнергетика и теплотехника**

Кафедра **теоретической и промышленной теплотехники**

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЕРЗАНИЯ ВЛАЖНОГО ГРУНТА ПРИ ХРАНЕНИИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

УДК 624.131.2/.3:536.2:622.791

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗБ	Курточакова Дарья Дмитриевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Сыродой С.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Василевский М.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Кузнецов Г.В.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2017 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ**

Направление подготовки **Теплоэнергетика и теплотехника**

Кафедра **теоретической и промышленной теплотехники**

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. Кафедрой ТПТ

_____ **Кузнецов Г.В.**

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студент:

Группы	ФИО
5БЗБ	Курточакова Дарья Дмитриевна

Тема работы:

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЕРЗАНИЯ ВЛАЖНОГО ГРУНТА ПРИ ХРАНЕНИИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА	
Утверждена приказом ректора (дата, номер)	№ 3419/с от 17.05.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

14 июня 2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Объект исследования - математическая модель низкотемпературного резервуара сжиженного природного газа, хранящегося в грунте. Предмет исследования - распределение температуры и полное время промерзания грунта, в котором находится резервуар для хранения СПГ.
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор и анализ научных статей по направлению исследования.</p> <p>Решается двумерная нестационарная задача теплопроводности в системе (грунт-бетон-сжиженный природный газ).</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>12 слайдов</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Основной раздел</p>	<p>Сыродой С.В. ст.преподаватель, к.т.н.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кузьмина Н.Г. ст. преподаватель каф. менеджмента</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Василевский В.М. доцент каф. экологии и БЖД, к.т.н.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Введение, анализ современного состояния, постановка задачи и её решение, анализ полученных результатов, заключение.</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>26.01.2017 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Сыродой Семен Владимирович	к.т.н.		26.01.2017 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б3Б	Курточакова Дарья Дмитриевна		26.01.2017 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i>

	результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 68 с., 23 рис., 7 табл., 42 источника.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, математическое моделирование, промерзание грунта, хранение сжиженного природного газа, теплофизические свойства.

Объектом исследования является математическая модель низкотемпературного резервуара сжиженного природного газа, хранящегося в грунте.

Цель работы – теоретическое исследование времени полного промерзания грунта при нахождении в нем подземного низкотемпературного резервуара для хранения сжиженного природного газа.

В процессе исследования проводилось математическое моделирование теплового состояния грунта при нахождении в нем хранилища-резервуара сжиженного природного газа.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: математическое моделирование проводилось с помощью программы MathWorks Matlab, рассматривается низкотемпературный подземный резервуар для хранения сжиженного природного газа. Температура внутри резервуара $T_{г} = -161^{\circ}\text{C}$, температура грунта принимается $T_{гр} = 10^{\circ}\text{C}$.

Область применения: объекты теплоэнергетики, использующие сжиженный природный газ, нефтегазовая и химическая отрасли промышленности.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Принятые обозначения:

ГУ – граничные условия;

МКР – метод конечных разностей;

СПГ – сжиженный природный газ;

X, Y – безразмерные координаты;

T – температура, K;

Θ – безразмерная температура;

α_i, β_i, x_i – прогоночные коэффициенты;

τ – итерационный параметр, аналогичный времени;

$Bi = \frac{\alpha_k \cdot L}{\lambda_f}$ – число Био;

$Fo_0 = \frac{\alpha_0 \cdot I}{l^2}$ – число Фурье;

Pom_{fr} – критерий Померанцева;

ν – динамическая вязкость, Pa·s;

Q – тепловой эффект, J/kg;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·K);

$\Lambda(x, y) = \frac{\lambda(x, y)}{\lambda_0}$ – безразмерный коэффициент теплопроводности;

c – теплоемкость, Дж/(кг·K);

$C(x, y) = \frac{c(x, y)}{c_0}$ – безразмерная теплоемкость;

ρ – плотность, кг/м³;

$P(x, y) = \frac{p(x, y)}{p_0}$ – безразмерная плотность;

L – длина резервуара, м;

H – высота резервуара, м;

h – шаг разностной сетки по пространству, м;

t – время, с;

τ – шаг по времени, с;

N – количество узлов разностной сетки.

Подстрочные индексы:

0 – начальный момент времени;

gas – газ;

gr – грунт;

bet – бетон;

vl – влажный;

fr – замёрзший;

krist – кристаллизация;

pl – плавление;

raz – размерная величина;

beraz – безразмерная величина;

Оглавление

Введение.....	11
<i>Сжиженный природный газ (СПГ).....</i>	<i>11</i>
<i>Преимущества использования СПГ.....</i>	<i>11</i>
<i>Особенности хранения СПГ.....</i>	<i>12</i>
<i>Надземные резервуары для хранения СПГ.....</i>	<i>14</i>
<i>Подземные резервуары для хранения СПГ.....</i>	<i>16</i>
<i>Основные риски эксплуатации хранилищ СПГ.....</i>	<i>17</i>
<i>Хранение СПГ в грунте.....</i>	<i>17</i>
<i>Явление ролловера.....</i>	<i>20</i>
<i>Меры безопасности на хранилище СПГ.....</i>	<i>23</i>
1 Методика эксперимента.....	24
2 Постановка задачи.....	25
2.1 Физическая постановка.....	25
2.2 Математическая постановка.....	27
2.3 Тестовые задачи.....	29
3 Результаты и анализ математического моделирования теплового состояния системы (грунт-бетон-газ).....	33
3.1 Влияние влажности грунта на время его полного промерзания.....	33
3.2 Влияние характеристик изоляционного слоя бака СПГ на время полного промерзания грунта.....	36
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	40
4.1 Планирование работ и оценивание времени их выполнения.....	40
4.2 Смета затрат на проект.....	43
4.2.1 Материальные затраты.....	43
4.2.2 Амортизация компьютерной техники	43
4.2.3 Затраты на заработную плату.....	43
4.2.4 Затраты на социальные нужды.....	44
4.2.5 Прочие затраты.....	45
4.2.6 Накладные расходы.....	45

4.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	46
4.4 Анализ полученных результатов.....	47
5 Социальная ответственность.....	48
5.1 Социальная значимость.....	49
5.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.....	50
5.2.1 Воздействие электромагнитного поля на оператора ПЭВМ...	51
5.2.2 Освещение.....	51
5.2.3 Микроклимат помещения.....	54
5.2.4 Источники шума.....	56
5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	58
5.3.1 Безопасность при работе на ПЭВМ.....	58
5.3.2 Пожарная безопасность.....	60
5.3.3 Региональная безопасность.....	61
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	62
5.5 Выводы.....	63
Заключение.....	65
Список использованной литературы.....	66

Введение

Сжиженный природный газ (СПГ)

Природный газ, охлажденный после очистки от примесей до температуры конденсации $T=-161^{\circ}\text{C}$, превращается в жидкость, называемую сжиженным природным газом (СПГ).

В современном мире производство СПГ является одной из самых стремительно развивающихся отраслей в мировой энергетике. Использование сжиженного природного газа позволяет решать проблему газоснабжения удаленных районов. В силу особенностей географического положения последних, доставка энергоносителя по трубопроводам часто является нерентабельной или вовсе невозможной [1].

Преимущества использования СПГ

СПГ как альтернативное топливо имеет целый ряд преимуществ.

Первое – объем газа при сжижении уменьшается в 600 раз, что повышает эффективность и удобство транспортировки, хранения и потребления газа [2-6].

Второе – По своей теплотворной способности 1л сжиженного природного газа эквивалентен 0,67л бензина или 1,13л дизельного топлива [2-6].

Третье – СПГ нетоксичен и не вызывает коррозии металлов. Сжиженный природный газ – это криогенная жидкость, которая хранится в теплоизолированной емкости при температуре $T=-161^{\circ}\text{C}$ и под небольшим избыточным давлением [2-6].

Четвертое – СПГ представляет собой безопасный, экологически чистый вид энергоносителя с высокими энергетическими характеристиками. Он легче воздуха и в случае аварийного разлива быстро испаряется [2-6].

Пятое – Сжиженный природный газ дает возможность газификации объектов, удаленных от магистральных трубопроводов на значительные

расстояния. Природный газ в сжиженном виде хранится долго, тем самым позволяет создавать запасы. Перед поставкой непосредственно потребителю СПГ возвращают в первоначальное газообразное состояние на регазификационных терминалах [7].

Особенности хранения СПГ

Помимо добычи, сжижения и транспортировки природного газа, важным аспектом также является его хранение. Сжиженный природный газ, как правило, хранится в специальных криогенных терминалах. Для использования СПГ в различных областях промышленности (энергетика, нефтехимия и газохимия) сжиженный природный газ проходит процедуру регазификацией. Последняя заключается в преобразовании сжиженного природного газа из жидкого состояния в газообразное.

В настоящее время строится множество хранилищ СПГ по всему миру. Их можно встретить и на нефтеперерабатывающих заводах, и на терминалах по импорту и экспорту газа, и на централизованных хранилищах, и на заправочных станциях и др. [8].

При проектировании комплексов по использованию и подготовке сжиженного природного газа встает вопрос о выборе способа хранения больших объемов СПГ. Вопрос хранения газа требует больших вложений в производство резервуаров. Как показывает практика, при строительстве комплексов, на долю резервуаров для хранения сжиженного природного газа приходится около 50% общих капиталовложений. Снизить вложения можно путем математического обоснования материалов конструкций хранилища СПГ, а также расчета его конструктивных характеристик (размер, форма, исполнение конструкций: подземное или надземное хранилище).

В современной практике использования СПГ существуют различные конструктивно-технологические схемы их хранения [9].

Первый способ – хранение сжиженного природного газа возможно в горизонтальных или шаровых резервуарах-хранилищах под давлением и при температуре не выше $T=50^{\circ}\text{C}$.

Второй способ – хранение СПГ возможно при пониженном давлении. Данный метод реализуется путем сооружения надземных и подземных резервуаров, также существуют еще и передвижные резервуары. Для хранения сжиженного природного газа используются искусственно созданные пустоты под землей. Температура продукта при данной схеме является близкой к температуре насыщения при данном давлении.

Третий способ – изотермический. Смысл последнего заключается в сжижении природного газа и хранении его при малом давлении (не более двадцати девяти килопаскалей). При этом температура сжиженного природного газа равна температуре его насыщения. Охлаждения газа осуществляется за счет процесса испарения в верхней части резервуара.

Такой способ хранения сжиженного природного газа наиболее удобен при наличии возможности закачки его в подледно-грунтовые слои верхней части литосферы земли или же при возможности строительства крупных надземных хранилищ. Классификация изотермических резервуаров для СПГ по конструктивному исполнению представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация изотермических резервуаров для СПГ по конструктивному исполнению

Конструкция широко применяемого в мире железобетонного низкотемпературного резервуара с замкнутой наружной оболочкой представлена на рисунке 2.

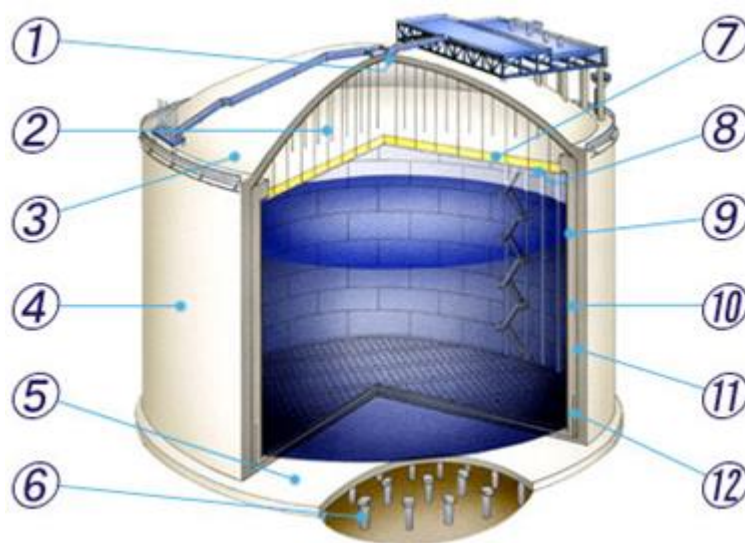


Рисунок 2 – Конструкция железобетонного резервуара для хранения СПГ.

1 – гидropодвес крыши; 2 – вертикальный подвесной держатель; 3 – железобетонный купол; 4 – цилиндрическая стенка; 5 – железобетонное основание; 6 – сваи; 7 – изоляция; 8 – подвесная платформа; 9 – корпус резервуара; 10 – тепловая изоляция; 11 – подкладка; 12 – перегородка.

В современном мире используются различные виды резервуаров хранения сжиженного природного газа [10]. Их различия обусловлены природоохранными и геологическими факторами, объемом и т.д. Существуют подземные и надземные хранилища СПГ. Оба вида резервуаров имеют высокий уровень фактической безопасности.

Надземные резервуары для хранения СПГ

На рисунке 3 представлена конструкция типового надземного резервуара хранения сжиженного природного газа. Такие резервуары состоят из внутренней металлической емкости, непроницаемой для жидкости, и внешней емкости, непроницаемой для пара и защищающей тепловую изоляцию от атмосферных воздействий. В подобных конструкциях

применяют теплоизоляцию экранного или пористого типа, а для защиты от атмосферных воздействий изоляцию обшивают тонкостенными алюминиевыми листами. Покрытие резервуара состоит из внешней купольной крыши, опирающейся на корпус емкости, и внутреннего подвешного перекрытия, которое представляет собой плоскую конструкцию, подвешенную к внешней крыше над внутренней емкостью и несущую теплоизоляцию. Подвесная крыша крепится к стропилам стационарной наружной крыши с помощью подвесок. Купольная крыша обычно выполняется из углеродистой стали с расчетной температурой эксплуатации, равной минимальной средней температуре самого холодного дня. Фундамент такого резервуара имеет два конструктивных решения. Первое – фундамент на сваях, который состоит из свайного поля и монолитного ростверка. Второе – фундамент, который состоит из нижней и верхней железобетонных плит, соединенных между собой колоннами. Фундамент предусматривает устройство проветриваемого пространства между ростверком и грунтом.

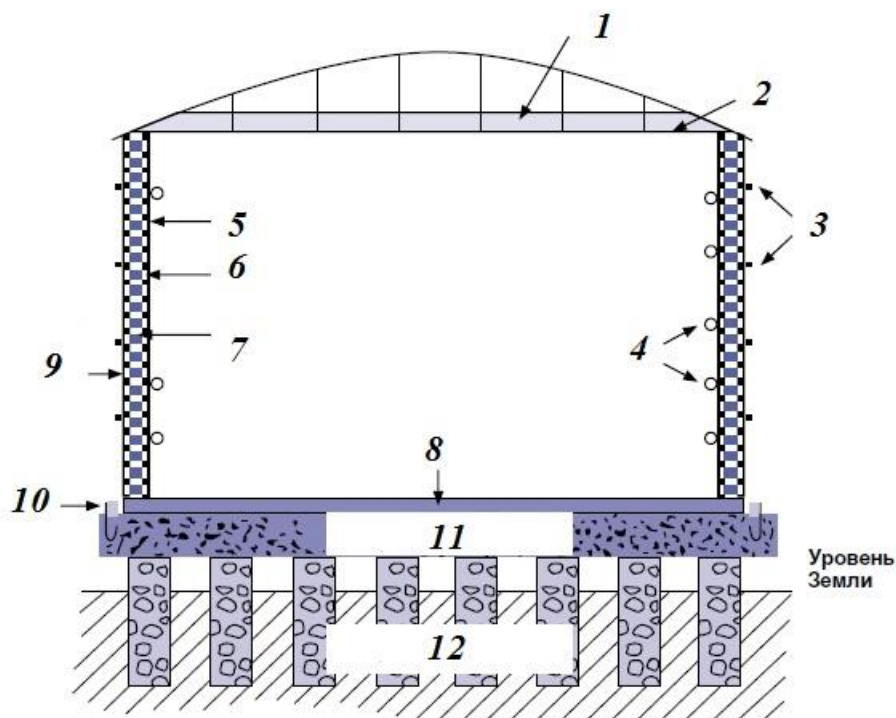


Рисунок 3 – Конструкция надземного резервуара хранения СПГ.

1 – изоляция; 2 – подвесное перекрытие; 3 – кольцевые ребра жесткости снаружи резервуара; 4 – кольцевые ребра жесткости внутри резервуара; 5 –

внутренняя обечайка; 6 – покрытие из стекловолокна; 7 – изоляция; 8 – силовая изоляция; 9 – внешняя обечайка; 10 – болты; 11 – бетонное основание; 12 – бетонные сваи.

Подземные резервуары для хранения СПГ

Подземные резервуары для хранения СПГ имеют некоторые преимущества с точки зрения охраны окружающей среды. Например, при землетрясениях подземные резервуары хранения меньше страдают от смещения почвы, чем надземные сооружения. Поэтому, подземные резервуары считаются наиболее безопасным способом хранения сжиженного природного газа. На рисунке 4 представлена конструкция типового подземного резервуара хранения СПГ.

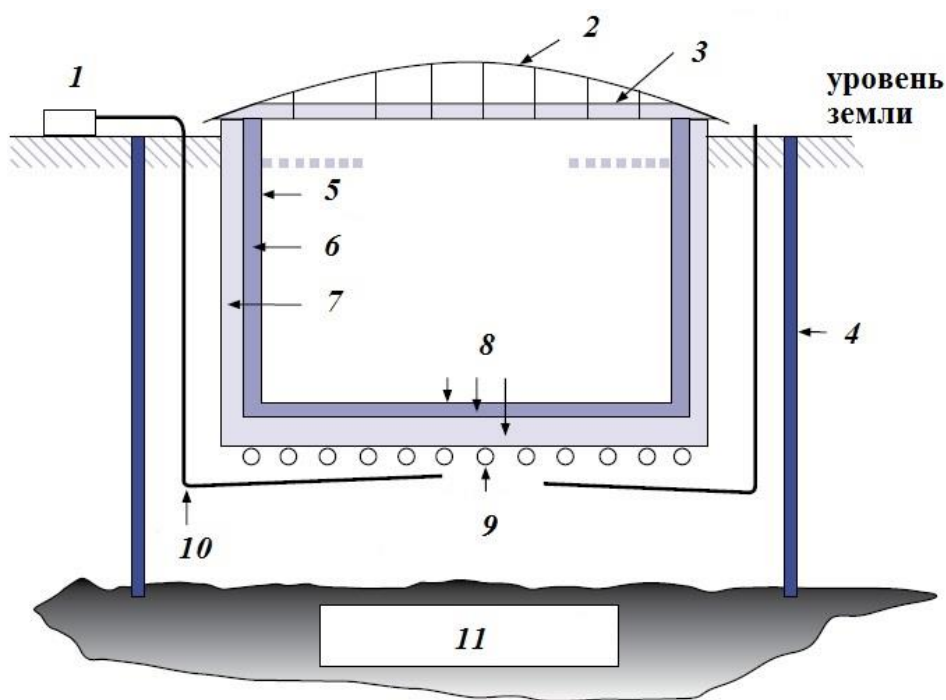


Рисунок 4 - Конструкция подземного резервуара хранения СПГ.

1 – насос; 2 – крыша; 3 – подвесное перекрытие с засыпной теплоизоляцией; 4 – бетонная стена в грунте; 5 – изолирующее покрытие; 6 – силовая изоляция; 7 – железобетонная обечайка; 8 – железобетонное основание; 9 – трубы системы отопления; 10 – водосборные трубы; 11 – непроницаемый пропласток.

Основные риски эксплуатации хранилищ СПГ

Анализ реальных аварий на комплексах подготовки, транспортировки и хранения сжиженного природного газа выявил следующие основные риски и возможные причины аварий, такие как: образование пролива, пожар пролива, выброс паров СПГ без последующего воспламенения, выброс паров СПГ с последующим воспламенением, взрыв паров СПГ в ограниченном пространстве [11].

Разгерметизация оборудования с дальнейшим выбросом газа является исходным событием возникновения и развития аварий на комплексах. Исходя из особенностей конструкции резервуара, все риски можно разделить на две группы. Первая группа – риски, связанные с воздействием на внешний корпус. Вторая группа – риски, связанные с воздействием на внутренний корпус.

Хранение СПГ в грунте

При понижении температуры грунт начинает промерзать на некоторую глубину [12]. Вода, содержащаяся в грунте, замерзает и превращается в лед, расширяясь при этом и, тем самым, увеличивая объем грунта. Этот процесс называется пучением грунта. Увеличиваясь в объеме, грунт действует на низкотемпературное хранилище. Сила этого воздействия может быть очень велика и составлять десятки тонн на квадратный метр поверхности резервуара. Воздействие такой силы может сдвигать или вовсе разрушать резервуар, в котором хранится сжиженный природный газ.

Проблема промерзания грунта, в котором находится резервуар для хранения СПГ является актуальной и недостаточно изученной на сегодняшний день.

Глубина промерзания грунта зависит от его теплофизических и фильтрационных свойств [13]. Например, грунты, состоящие из глины и суглинка, промерзают значительно меньше песчаных. Нормативные

глубины промерзания (по данным СНиП) в сантиметрах для разных городов и типов грунта представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативные глубины промерзания (по данным СНиП) в сантиметрах для разных городов и типов грунта

Город	Глина	Пески
Архангельск	160	176
Астрахань	80	88
Брянск	100	110
Волгоград	100	110
Вологда	140	154
Воркута	240	264
Воронеж	120	132
Екатеринбург	180	198
Ижевск	160	176
Казань	160	176
Кемерово	200	220
Киров	160	176
Липецк	120	132
Магнитогорск	180	198
Москва	120	132
Набережные Челны	160	176
Нижневартговск	240	264
Нижний Новгород	140	154
Новокузнецк	200	220
Новосибирск	220	242
Омск	200	220
Орел	100	110
Оренбург	160	176
Орск	180	198
Пенза	140	154
Пермь	180	198
Псков	80	88
Ростов-на-Дону	80	88
Рязань	140	154
Самара	160	176
Санкт-Петербург	120	132
Саранск	140	154
Саратов	140	154
Серов	200	220

Продолжение таблицы 1.

Смоленск	100	110
Ставрополь	60	66
Сургут	240	264
Тверь	120	132
Тобольск	200	220
Томск	220	242
Тюмень	180	198
Уфа	180	198
Челябинск	180	198
Ярославль	140	154

Стоит помнить, что фактические глубины промерзания на самом деле будут отличаться от нормативных, приведенных в СНиП, потому что нормативные данные приведены для самого плохого случая - отсутствие снежного покрова (что для нашей области совсем не характерно). Нормативная глубина промерзания грунта, представленная в этой таблице, - это максимальная глубина. Снег и лед – хорошие теплоизоляторы, и наличие снежного покрова уменьшает глубину промерзания, то есть реальная глубина промерзания земли в таком случае может быть на 20-40% меньше нормативной.

При проектировании подземных резервуаров и фундаментов надземных резервуаров тщательно изучают свойства и состав грунтов и затем подбирается его тип [14]. На непучинистых грунтах фундамент надземных резервуаров сооружают на грунтовом основании. А при пучинистых грунтах необходимо предотвратить промерзание, так как слой изоляции не может полностью предотвратить теплообмен между грунтом и основанием. Для этого дно надземного резервуара необходимо обогревать. Например, установить теплообменники под фундаментом. На рисунке 5 представлена схема установки обогрева фундаментного основания надземного низкотемпературного хранилища сжиженного природного газа.

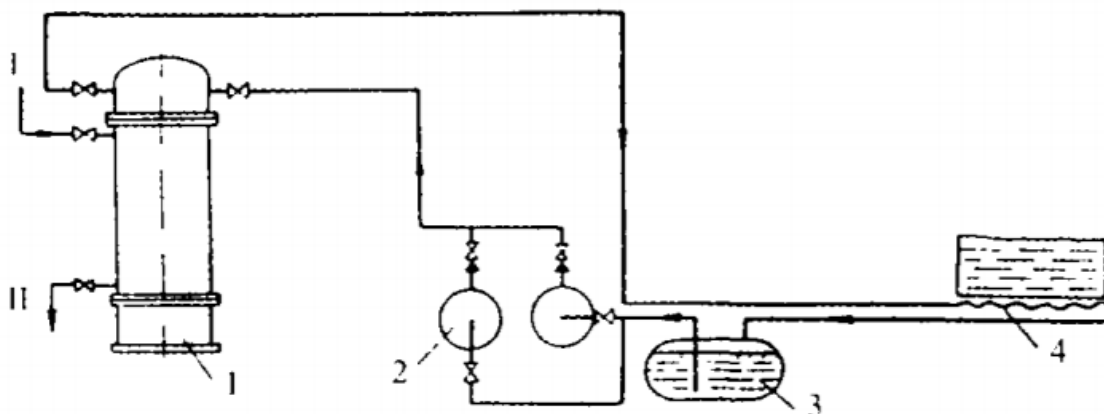


Рисунок 5 – Схема установки обогрева фундаментного основания наземного низкотемпературного хранилища

1 – теплообменный аппарат; 2 – центробежный насос; 3 – промежуточная емкость; 4 – змеевик-радиатор; I – подача пара; II – отбор пара.

Максимальная экономичность хранения сжиженных газов в низкотемпературных резервуарах и эксплуатационная надежность обеспечивается только тогда, когда правильно выбран материал конструкций (изоляции, железобетона, металла) и в фундаменте нет деформаций.

Важными мероприятиями по защите фундамента от подземных вод и сырости, являются: применение гидроизоляции, устройство дренажей для осушения грунта, отвод талых и дождевых вод.

Для изучения теплового состояния низкотемпературного подземного хранилища проведены исследования в таких областях как, явление ролловера, промерзание грунта, теплоперенос в ограждающих конструкциях, влияние тепловой изоляции, процесс конденсации газа [15].

Явление ролловера

Существенный недостаток при хранении сжиженного природного газа это возникновение ролловера [16]. Последнее заключается в резком увеличении избыточного давления парогазовой фазы в подкупольном пространстве резервуара. При процессе промерзания грунта происходит

процесс прогрева СПГ в резервуаре, вызывая тем самым эффект ролловера. При этом происходит интенсивное перемешивание, накопленное тепло уходит на фазовый переход части жидкости, увеличивая давление в газовой подушке. Такой неконтролируемый рост давления приводит к повреждению хранилища. Возможные последствия увеличения давления могут быть следующие: увеличение напряжений в корпусе; увеличение напряжений в уторном узле, увеличение изгибных напряжений в днище; разрыв анкеров, соединяющих стенку и днище; деформации стенки и днища; отрыв стенки от днища и утечка продукта из емкости [17]. На рисунке 6 изображены стадии протекания явления ролловера.

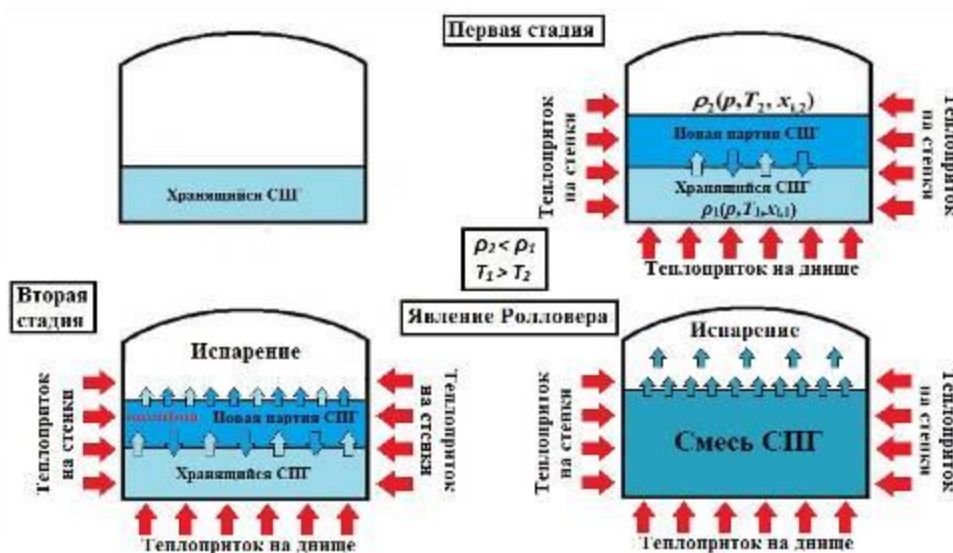


Рисунок 6 - Стадии протекания явления ролловера

Первая стадия – на данной стадии протекания явления ролловера СПГ находится в резервуаре-хранилище при температуре $T = -161^\circ\text{C}$.

Вторая стадия – на данной стадии протекания явления ролловера происходит промерзание грунта, в котором находится резервуар с сжиженным природным газом. Грунт отдает свою теплоту хранилищу, происходит теплоприток с боковых стенок и дна резервуара, тем самым нагревая хранящийся в нем СПГ. Таким образом газ внутри делится на два потока: нижний – данный поток прогревается (температура выше $T = -161^\circ\text{C}$) и поднимается вверх, верхний поток – СПГ с температурой $T = -161^\circ\text{C}$.

Третья стадия – на этой стадии происходит перемешивание двух потоков сжиженного природного газа и образуется интенсивное испарение. На рисунке 7 представлен процесс перемешивания слоев при закачке продукта в резервуар.

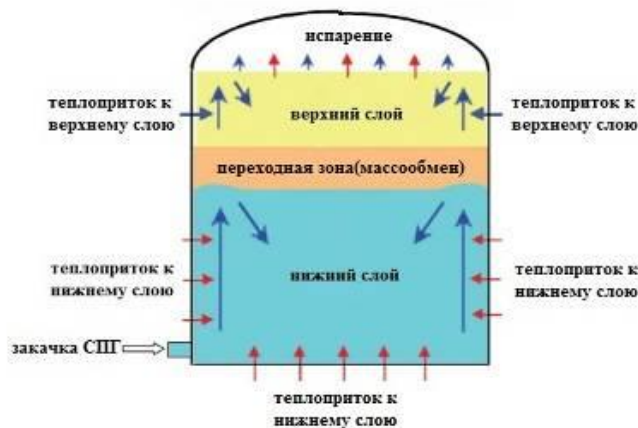


Рисунок 7 - Перемешивание слоев при закачке продукта в резервуар

Четвертая стадия – на этой стадии из-за интенсивного испарения происходит разрушение резервуара, вследствие чего сжиженный природный газ вырывается наружу.

Существуют несколько причин возникновения явления ролловера [18]. Во-первых, если есть разница температур жидкости. Во-вторых, если СПГ хранится в течение длительного времени без циркуляции. В-третьих, если две различные партии СПГ хранятся в одном резервуаре.

Возникший эффект от ролловера может носить разный характер. Например, может происходить увеличение скорости испарения до 10 раз, в отличие от нормального состояния, также может возникать повышение давления бака или подъем предохранительного клапана резервуара.

Существуют меры по предотвращению ролловера. Во-первых, следует хранить отдельно партии сжиженного природного газа с различной плотностью. Во-вторых, следует загружать резервуар со специальным оборудованием, например, насадками, способствующими смешиванию СПГ при загрузке (как правило используется для береговых резервуаров). В-третьих, следует избегать продолжительных остановок подачи СПГ при

загрузке резервуара. В-четвертых, необходимо постоянно контролировать уровень испарения сжиженного природного газа.

Причина явления переворачивания слоев - недостаточное смешивание поступающей в резервуар партии продукта с уже находящейся в нем жидкостью. Однако стратификация с дальнейшим вскипанием может также произойти при выдерживании СПГ в течение длительного времени в резервуаре без рециркуляции или при содержании азота в составе сжиженного природного газа более 1 % (такая пороговая концентрация установлена по данным международных исследований явления rollover). Для предотвращения стратификации резервуар оснащается системой рециркуляции с использованием насосов.

Меры безопасности на хранилище СПГ

Во избежании опасностей, возникающих на комплексах хранения, перегрузки и транспортировки сжиженного природного газа, разработан комплекс систем безопасности [19]. Основной из таких систем является комплекс мероприятий для предотвращения ролловера. Последний основан на использовании системы труб, насосов и арматуры, основной целью которых является обеспечение циркуляционного режима в хранилище и соответственно поддержание всего объема сжиженного природного газа в изотермическом состоянии. С целью создания и обеспечения достаточного устойчивого режима циркуляции в СПГ-хранилище используются специальные системы турбулизации потоков сжиженного газа во внутрикамерном пространстве. Они основаны на применении форсунок и мощного насосного оборудования. С целью предупреждения ролловера в хранилище установлены термоэлектрические преобразователи, которые измеряют температуру в разных (по высоте) слоях СПГ. В случае регистрации данного явления включается система премешивания всего объема газа [20-21].

1 Методика эксперимента

Метод конечных разностей

Метод конечных разностей (МКР) является приближенным методом решения краевых задач для дифференциальных уравнений. Его еще называют методом сеток. Суть метода заключается в следующем. На рассматриваемую область (область резервуара, в котором хранится СПГ) наносим сетку узлов (соответственно одномерную, двумерную или трехмерную). Производные, которые входят в дифференциальные уравнения, описывающие деформирование элементов строительных конструкций, и краевые условия приближенно заменяем соответствующими разностными соотношениями по формулам численного дифференцирования и, следовательно, выражаем через неизвестные значения искомой функции в узлах сетки. В результате сводим задачу к системе алгебраических уравнений, в которой неизвестными величинами являются значения искомых функций в узлах ранее созданной сетки. Решив эту систему и, при необходимости, проинтерполировав узловые значения искомых функций в промежутках между узлами сетки, в итоге получим приближенное численное решение поставленной задачи.

Существенное преимущество метода конечных разностей по отношению к другим численным методам – это несильная зависимость используемого алгоритма от вида дифференциальных уравнений и краевых условий задачи. [22-23] Недостаток же состоит в том, что приходится решать системы алгебраических уравнений высоких порядков. Этот недостаток смягчается тем, что матрицы систем уравнений – не полностью заполненные (ленточные). Метод конечных разностей также затруднительно использовать при решении задач о сопряжении конструкций различной размерности, многосвязных при смешанных граничных условиях и т.д.

2 Постановка задачи

2.1 Физическая постановка

Подземные резервуары для хранения сжиженного природного газа необходимо строить с учетом процессов промерзания в грунтах. Под влиянием низких температур грунт может начинать промерзать, в результате чего происходит осадка и сдвиг резервуара, что несомненно может привести к разрушению резервуара и аварийным ситуациям, таким как выход сжиженного природного газа в атмосферу [24].

Многие процессы теплообмена связаны с изменением агрегатного состояния грунта. При фазовых переходах происходит выделение или поглощение теплоты. Решение подобного рода задач имеет большое практическое значение в энергетике, металлургии, строительной теплотехнике и в других прикладных дисциплинах [25].

В большинстве случаев решения задач о движении границы между жидкостью и твердым телом проводят по методу Стефана [26]. Следует отметить, что данный метод применим для одномерной постановки задачи, но значительно сложнее обстоит дело с двухмерной или с трехмерной задачей. Это уже многофронтная задача Стефана. Последние являются одними из самых сложных в математической физике [27-28].

В данной работе рассматривается оригинальный подход к моделированию фазовых переходов при решении многофронтной задачи Стефана. Проведено численное моделирование теплопереноса в грунте. На рисунке 8 изображена область решения рассматриваемой задачи.

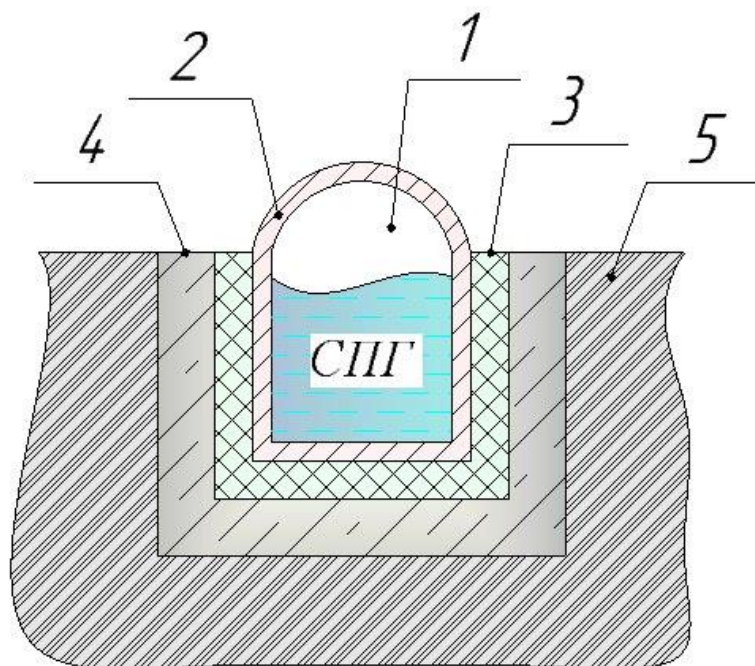


Рисунок 8 – Область решения рассматриваемой задачи

1 – область, в которой хранится сжиженный природный газ; 2 – резервуар для хранения СПГ; 3 – стеклобетонная изоляция; 4 – бетонная изоляция; 5 – область влажного грунта.

Рассматривается резервуар для хранения сжиженного газа, помещенный в грунт. Высота резервуара $H=90\text{м}$, длина $L=90\text{м}$. В начальный момент времени на устанавливается температура грунта $T_{гр}=10^{\circ}\text{C}$, которая ниже температуры замерзания, температура льда $T_{л}=-10^{\circ}\text{C}$, температура СПГ в резервуаре $T_{г}=-161^{\circ}\text{C}$. В результате грунт начинает промерзать. Происходит охлаждение грунта за счет теплоперетока. При достижении температуры в грунте около $T_{гр}=-273\text{К}$ инициируется процесс кристаллизации грунтовой влаги. Фронт кристаллизации движется от резервуара. При численном моделировании предполагается, что процесс кристаллизации заканчивается в тот момент, когда температура грунта около резервуара становится ниже значения $T_{гр}=273\text{К}$.

2.2 Математическая постановка

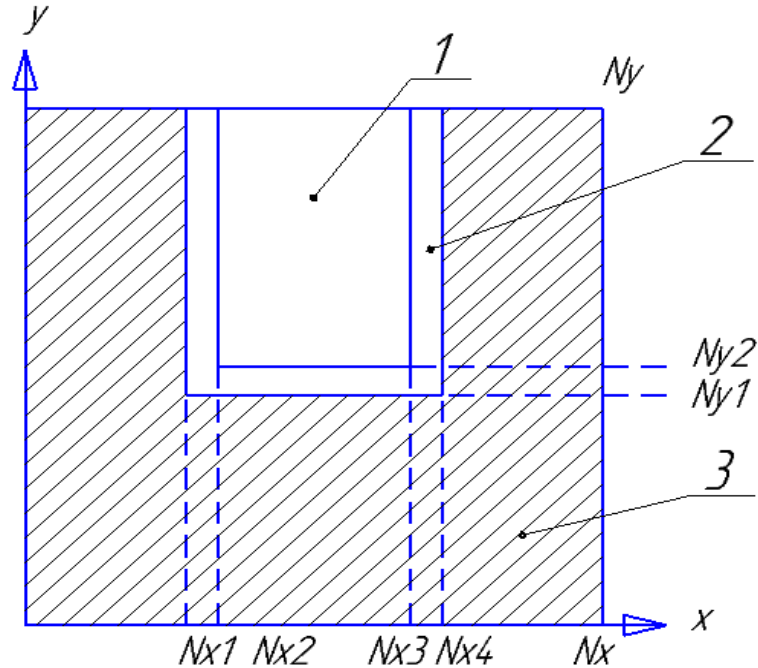


Рисунок 9 – Область решения рассматриваемой задачи

1 – область, в которой находится СПГ, 2 – изоляционная область (бетон),
3 – область грунта.

Математическая постановка, соответствующая вышеизложенной модели, состоит из следующей системы уравнений математической физики:

Уравнение энергии для грунта:

$$c(x, y)\rho(x, y)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\lambda(x, y)\frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}\lambda(x, y)\frac{\partial T}{\partial y} + \frac{W_{кр} \cdot Q_{кр}}{h_s} \cdot \delta(x, y). \quad (1)$$

Уравнение энергии для бетона:

$$c_2\rho_2\frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_2\left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2}\right). \quad (2)$$

Уравнение энергии для газа:

$$c_3\rho_3\frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3\left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial y^2}\right), \quad (3)$$

где c – теплоемкость, ρ – плотность, λ – коэффициент теплопроводности, T – температура, τ – время, x, y – координаты, $\delta(x, y)$ – функция Дирака, $W_{кр}$ – скорость замерзания, $Q_{кр}$ – теплота при кристаллизации, h_s – шаг.

Начальные условия:

$$\tau = 0$$

Граничные условия:

$$x = l_1 \quad \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x}; \quad (4)$$

$$x = l_2 \quad \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} = 0 \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x}; \quad (5)$$

$$y = 0 \quad \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y}. \quad (6)$$

$$y = H \quad \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=H} = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot (T_e - T) \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y}. \quad (7)$$

Система уравнений (1-7) решалась в безразмерном виде. Тогда уравнение энергии для грунта будет иметь вид:

$$\frac{PC}{Fo_0} \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \Lambda \frac{\partial \Theta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \Lambda \frac{\partial \Theta}{\partial y} + Pom_{fr}. \quad (8)$$

Уравнение энергии для бетона:

$$\frac{1}{Fo_2} \cdot \frac{\partial \Theta_2}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial y^2}. \quad (9)$$

Уравнение энергии для газа:

$$\frac{1}{Fo_3} \cdot \frac{\partial \Theta_3}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta_3}{\partial y^2}, \quad (10)$$

где $C(x, y) = \frac{c(x, y)}{c_0}$ – безразмерная теплоемкость, c_0 – теплоемкость в начальный

момент времени, $P(x, y) = \frac{p(x, y)}{p_0}$ – безразмерная плотность, p_0 – плотность в

начальный момент времени, $\Lambda(x, y) = \frac{\lambda(x, y)}{\lambda_0}$ – безразмерный коэффициент

теплопроводности, λ_0 – коэффициент теплопроводности в начальный момент

времени, Θ – безразмерная температура, $Fo_0 = \frac{\alpha_0 I}{l^2}$ – критерий Фурье, Pom_{fr} – критерий Померанцева.

Граничные условия:

$$X = l_1 \quad \left. \frac{\partial \Theta}{\partial X} \right|_{X=0} = 0 \quad \frac{\partial \Theta}{\partial X} = K_\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial X}; \quad (11)$$

$$X = l_2 \quad \left. \frac{\partial \Theta}{\partial X} \right|_{X=L} = 0 \quad \frac{\partial \Theta}{\partial X} = K_\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial X}; \quad (12)$$

$$Y = 0 \quad \left. \frac{\partial \Theta}{\partial Y} \right|_{Y=0} = 0 \quad \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = K_\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial Y}. \quad (13)$$

$$Y = H \quad \left. \frac{\partial \Theta}{\partial Y} \right|_{Y=H} = Bi \cdot (1 - \Theta) \quad \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = K_\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial Y}. \quad (14)$$

2.3 Тестовые задачи

1. Одномерное уравнение теплопроводности с химической реакцией в материале (термическое разложение)

Определить температурное поле через 600, 1800 и 3600 секунд.

Толщина пластины $L=0.2$ м.

Начальная температура $T_0=298K$.

Материал пластины – полимер со следующими теплофизическими характеристиками $\lambda = 0.7$ Вт/(м·К), $\rho = 1500$ кг/м³, $c = 750$ Дж/(кг·К). На границе $x=0$ пластина контактирует с первой средой ($\kappa = 40$ Вт/(м²·К), $T^e = 303K$), на границе $x=L$ пластина контактирует со второй средой ($\kappa = 40$ Вт/(м²·К), $T^e = 343K$). $q_{хим} = 10^3$ Вт/кг, $k_0 = 3 \cdot 10^4$, $E = 8 \cdot 10^4$ Дж/моль.

Результатом работы программы является массив температур, по которому было построено распределение температуры. На рисунке 10 изображено распределение температуры по координате в зависимости от времени.

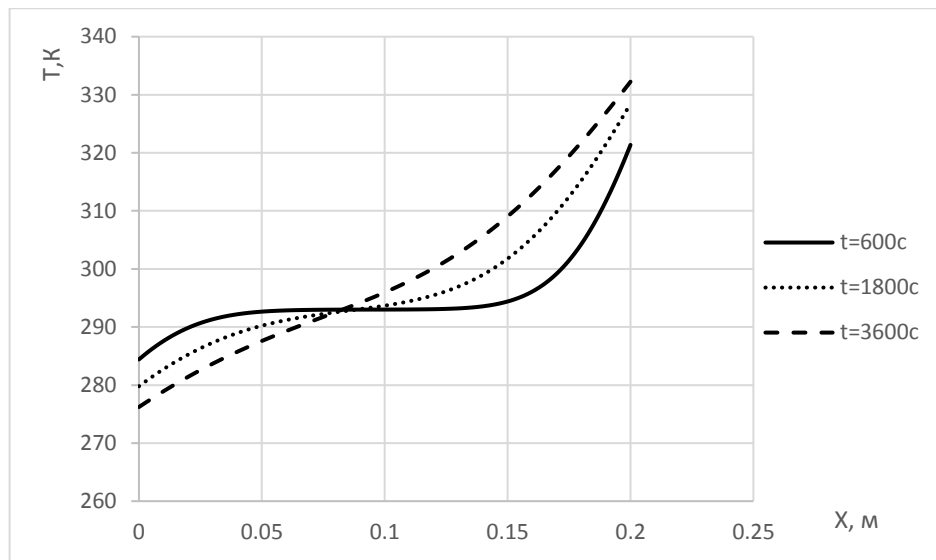


Рисунок 10 – Распределение температуры по координате в зависимости от времени

2. Неоднородная двумерная пластина

Определить температурное поле в пластине через 90,360 секунд. Линейные размеры пластины $L=1$ м, $H=1$ м. Будем считать, что включение квадратное и его края равноудалены от краёв пластины. Материал пластины – медь ($\lambda = 384$ Вт/(м·К), $\rho = 8800$ кг/м³, $c = 381$ Дж/(кг·К)), а материал включения – кварцевое стекло ($\lambda = 1.38$ Вт/(м·К), $\rho = 2200$ кг/м³, $c = 1052$ Дж/(кг·К)). На границах пластины поддерживаются температуры Te_1, Te_2, Te_3, Te_4 . На рисунке 11 изображена область решения рассматриваемой задачи.

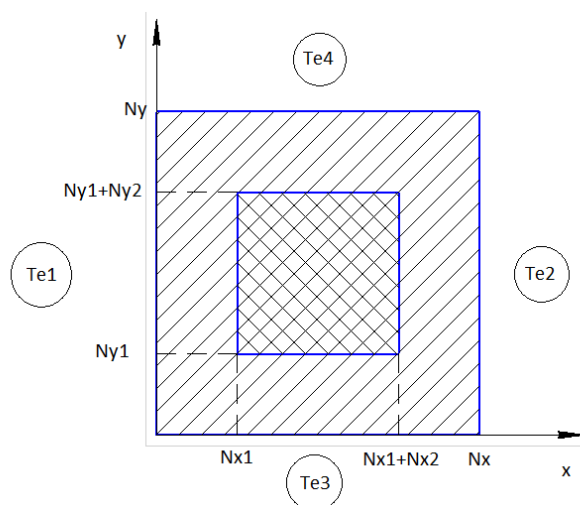


Рисунок 11 – Область решения рассматриваемой задачи

Результаты:

1. Пусть температуры $T_{e1}=T_{e2}=T_{e3}=T_{e4}=433\text{ К}$.

На рисунке 12 изображено распределение температуры через 2 секунды после начала нагрева.

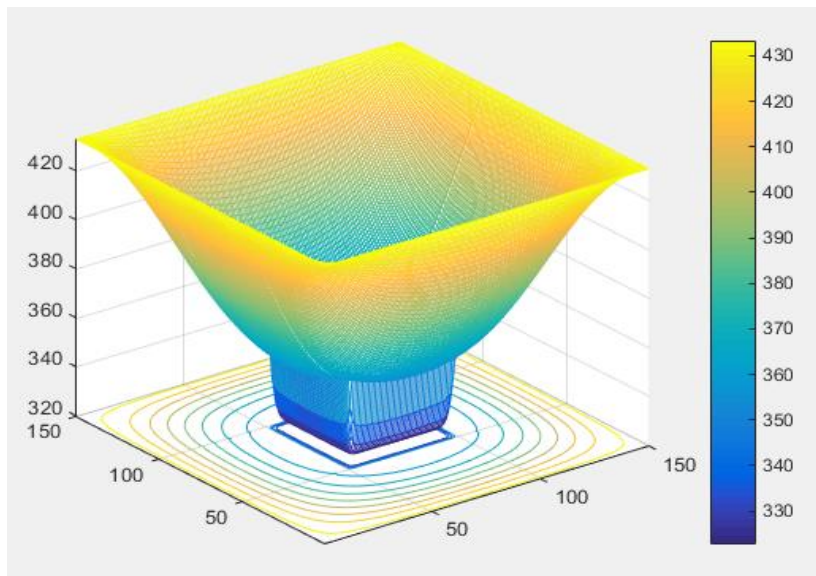


Рисунок 12 – Распределение температуры через 2 секунды после начала нагрева

На рисунке 13 изображено распределение температуры через 10 секунд после начала нагрева.

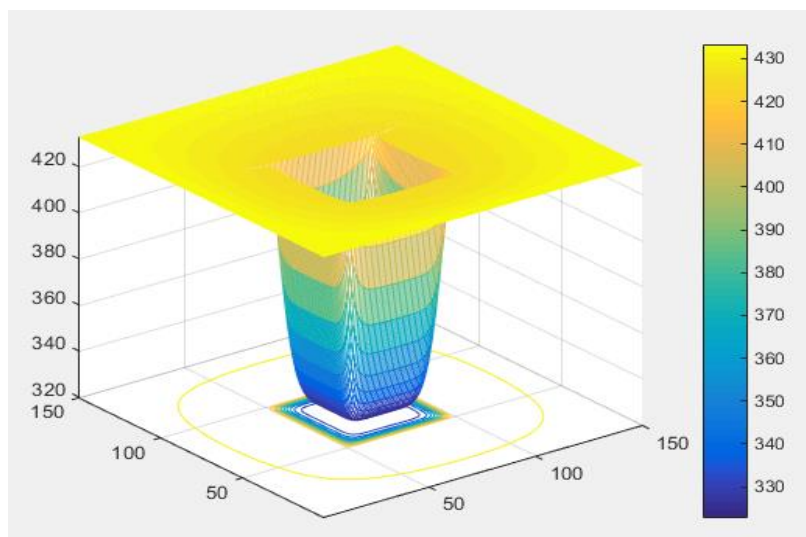


Рисунок 13 – Распределение температуры через 10 секунд после начала нагрева

На рисунке 14 изображено распределение температуры через 90 секунд после начала нагрева.

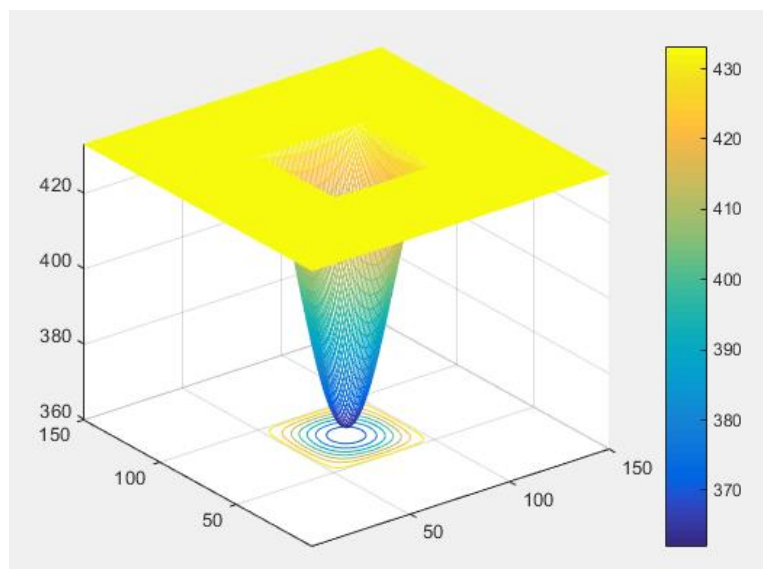


Рисунок 14 – Распределение температуры через 90 секунд после начала нагрева.

2. Пусть пластина с двух сторон охлаждается, а с других двух нагревается. На рисунке 15 изображено распределение температуры через 20 секунд после начала нагрева/охлаждения.

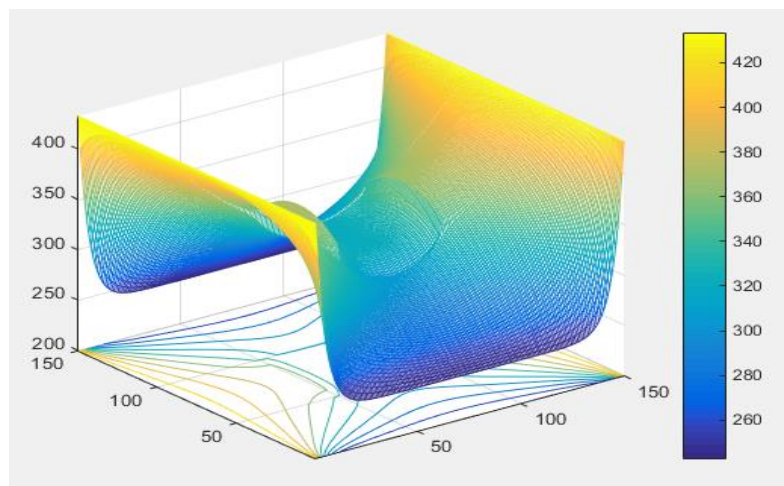


Рисунок 15 – Распределение температуры через 20 секунд после начала нагрева/охлаждения

3 Результаты и анализ математического моделирования

3.1 Влияние влажности грунта на время его полного промерзания

Известно, что на время промерзания грунта влияет его влагосодержание. Влажность грунта может варьироваться в достаточно широком диапазоне (0,0001-0,1). Это обусловлено географическим положением и природными условиями района, в котором хранится резервуар с СПГ. На рисунке 15 представлена зависимость времени промерзания от влажности грунта. Так для влажности $f_i=0,0001$ время полного промерзания грунта составляет $\tau=42$ мин, при $f_i=0,001$ время полного промерзания грунта составляет $\tau=43$ мин, при $f_i=0,01$ время полного промерзания грунта составляет $\tau=1$ час 5 мин и при $f_i=0,1$ время полного промерзания грунта составляет $\tau=4$ часа 48 мин. Анализ результатов показывает, что влажность грунта оказывает существенное влияние на время его полного промерзания. Также необходимо отметить линейный характер зависимости (рисунок 16). Полиномиальная аппроксимация дала следующую формулу:

$$\tau = 2482,8 \cdot f_i + 41,872.$$

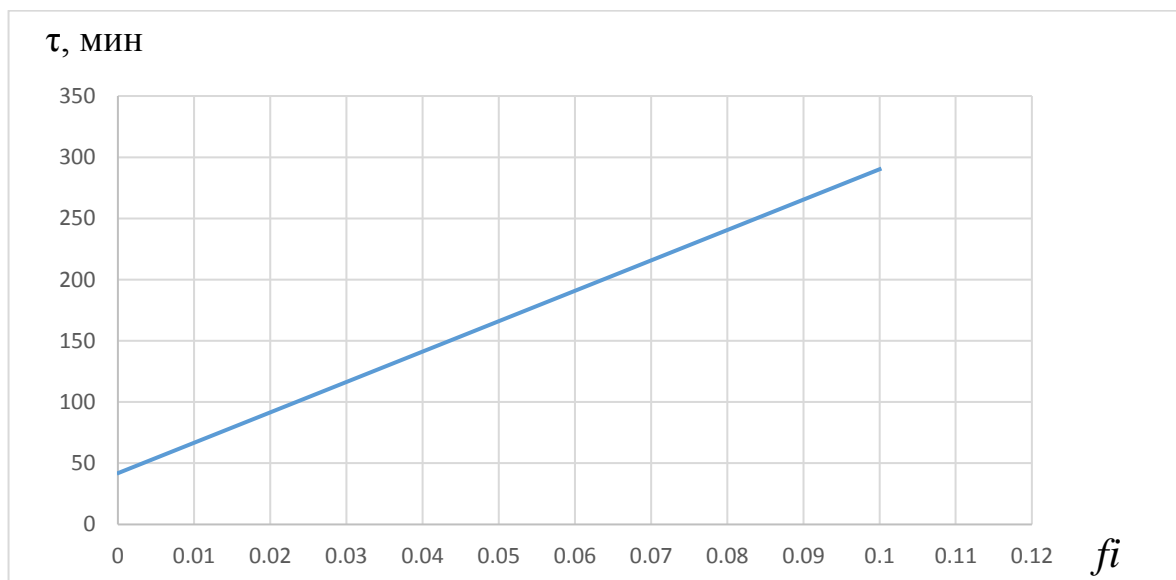


Рисунок 16 – Зависимость времени промерзания от влажности грунта

На рисунках 17 и 18 представлены распределения температурных полей в системе «грунт-бетон-СПГ» в момент времени $\tau=1200$ сек при максимальной и минимальной рассматриваемых влажностях f_i . На рисунке

17 видно, что фронт кристаллизации в районе локализации боковых стенок и дна резервуара «прошел» от хранилища к внешней области грунта.

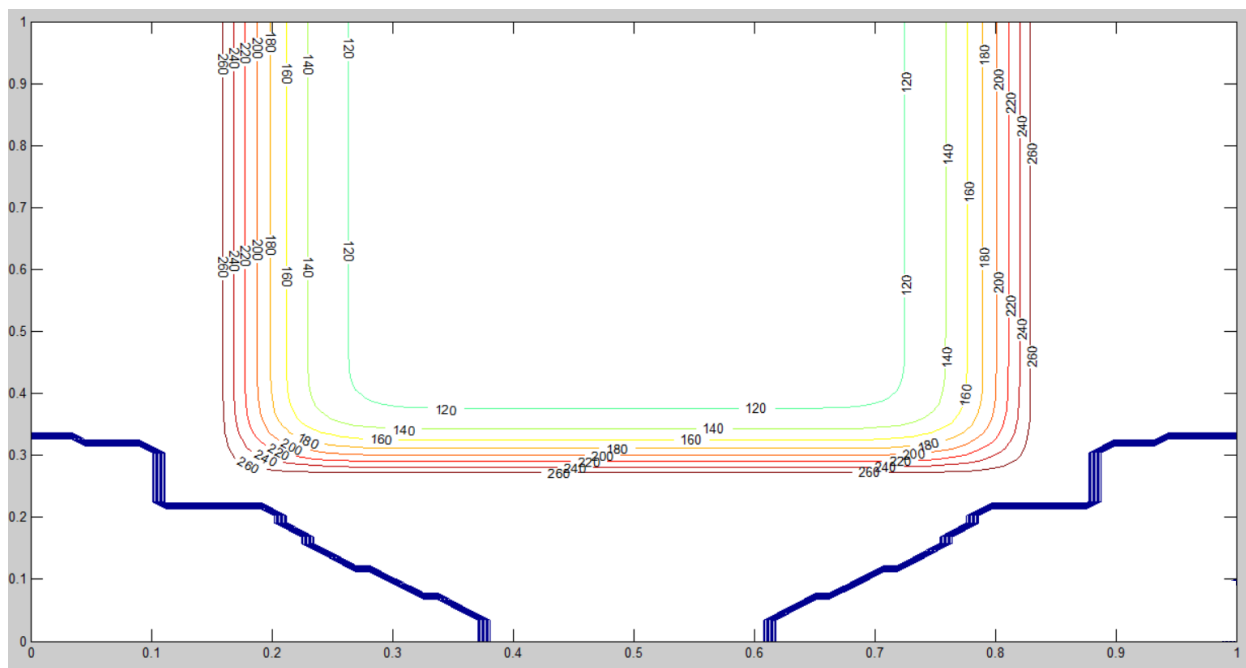


Рисунок 17 – Температурное поле в системе «грунт-бетон-СПГ» при влажности $f_i=0.0001$ в момент времени 1200 сек

В то же время при хранении сжиженного природного газа в хранилище, установленном в грунте с влажностью $f_i=0,1$ положение фронта замерзания практически не изменилось (рис.18).

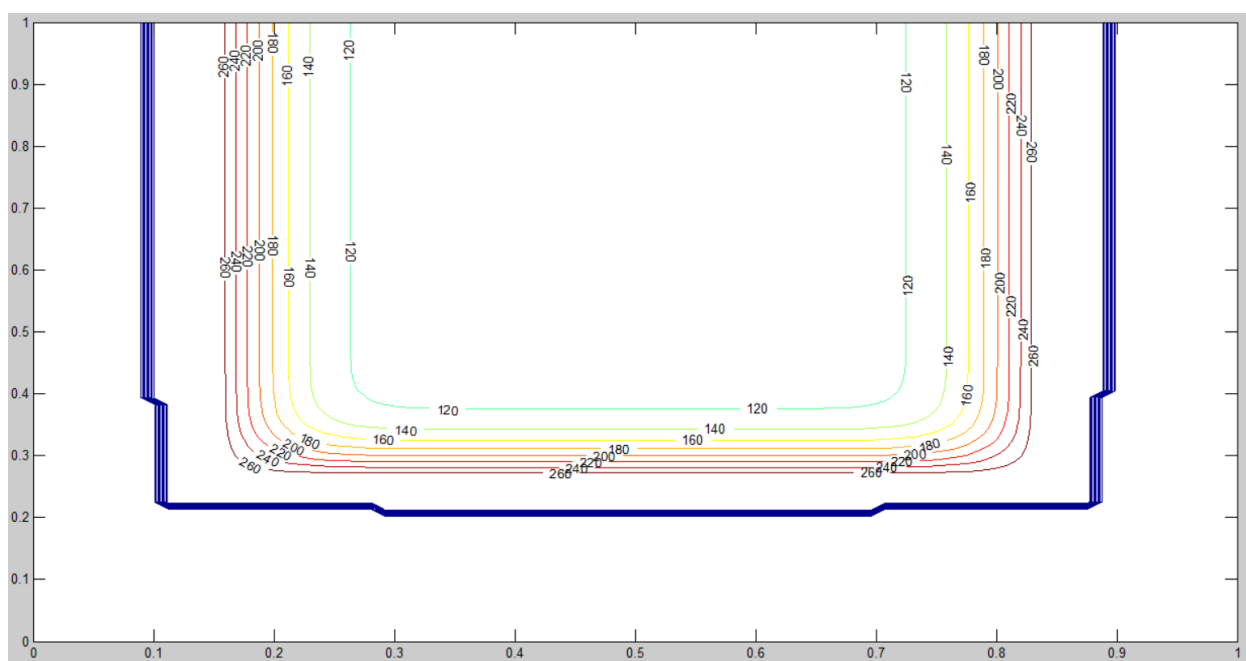


Рисунок 18 – Температурное поле в системе «грунт-бетон-СПГ» при влажности $f_i=0.1$ в момент времени 1200 сек

Последнее обусловлено тем, что более насыщенный водой грунт обладает высокой (по сравнению с грунтом $f_i=0,0001$) теплоемкостью. Соответственно, для его промерзания необходимо более глубокое его охлаждение.

3.2 Влияние характеристик изоляционного слоя бака СПГ на время полного промерзания грунта

Известно, что емкость для сжиженного природного газа состоит из основного бака, изготовленного из алюминиевого сплава и изоляционного слоя. Этот слой может быть выполнен из композиционного материала, например, из армированного стекловолокна или стеклопластика. Весь бак погружается в цилиндрическое бетонное основание. Правильно подобранная изоляция позволит увеличить время хранения топлива в баке и повысить надежность эксплуатации емкостей. В данной работе рассматривались три вида слоя изоляции: бетон, стекловата и слой, который представляет собой комбинацию стеклопластика и бетона. Баки с бетонной изоляцией имеют относительно высокую теплопроводность и соответственно высокую прочность. Последнее обеспечивает долгое и надежное хранение СПГ. Однако, такая изоляция является самой дорогостоящей. Баки с изоляцией, выполненной из стекловаты намного дешевле бетонной, однако, время хранения сжиженного природного газа в емкости уменьшается. На рисунках 19-21 представлены температурные поля в системе «грунт-изоляция-СПГ». При проведении данных расчетов учитывались тепловые характеристики различных материалов теплоизоляционных конструкций. Так, на рисунке 19 представлено температурное поле «грунт-бетон-СПГ». Фронт кристаллизации, за заданный промежуток времени продвинулся от боковых границ до внешней границы области решения задачи. Иная ситуация наблюдается при промерзании грунта в случае хранения СПГ в резервуаре с стекловатной изоляцией. Фронт промерзания продвинулся значительно меньше. Это обусловлено тем, что при такой изоляции теплоприток из

резервуара в грунт намного меньше чем при хранении сжиженного природного газа в баке изолированным только бетоном.

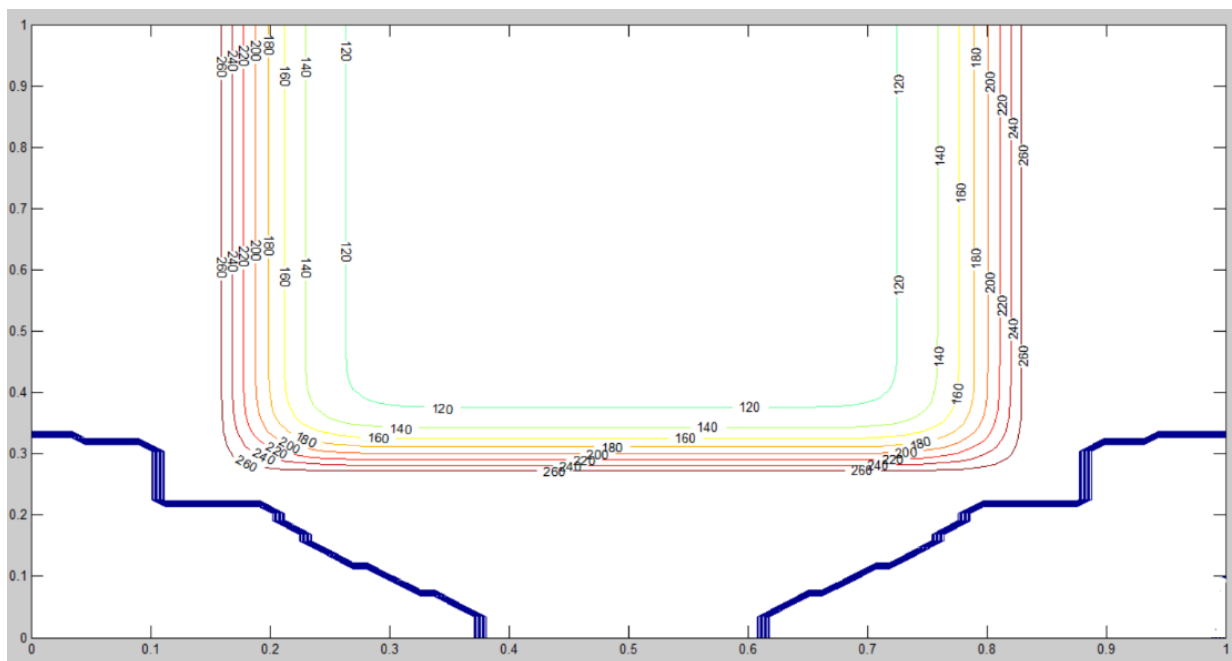


Рисунок 19 – Температурное поле в системе «грунт-бетон-СПГ»

На рисунке 20 представлено температурное поле «грунт-стекловата-СПГ».

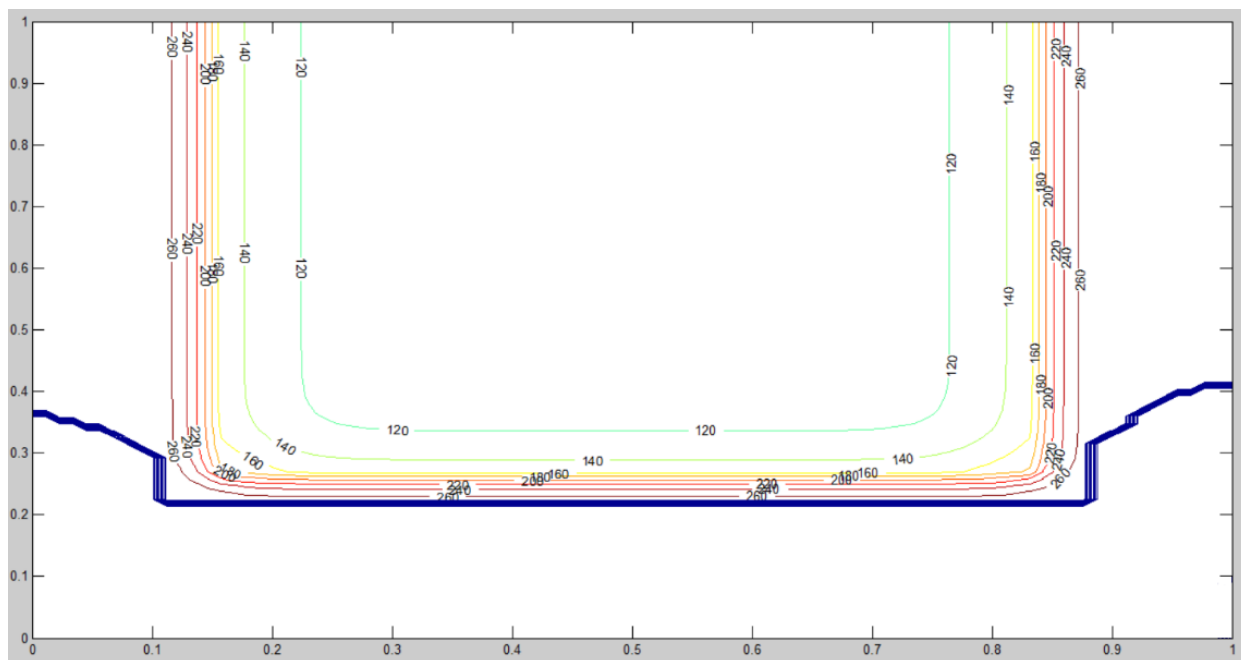


Рисунок 20 – Температурное поле в системе «грунт-стекловата-СПГ»

На рисунке 21 представлено температурное поле грунт-комбинированный слой из стеклопластика и бетона. Анализ зависимостей показывает, что грунт промерз полностью. Последнее обусловлено

существенным отличием теплофизических характеристик системы бетон-стекловата от ТФС бетона и стекловаты. Можно сказать, что применение такого метода изолирования хранилища сжиженного природного газа наиболее невыгодно экономически, в связи с большими потерями тепла в окружающую среду. Скорее всего для более эффективного хранения сожжённого природного газа необходимо применять более толстые стенки каждого из компонентов изоляции.

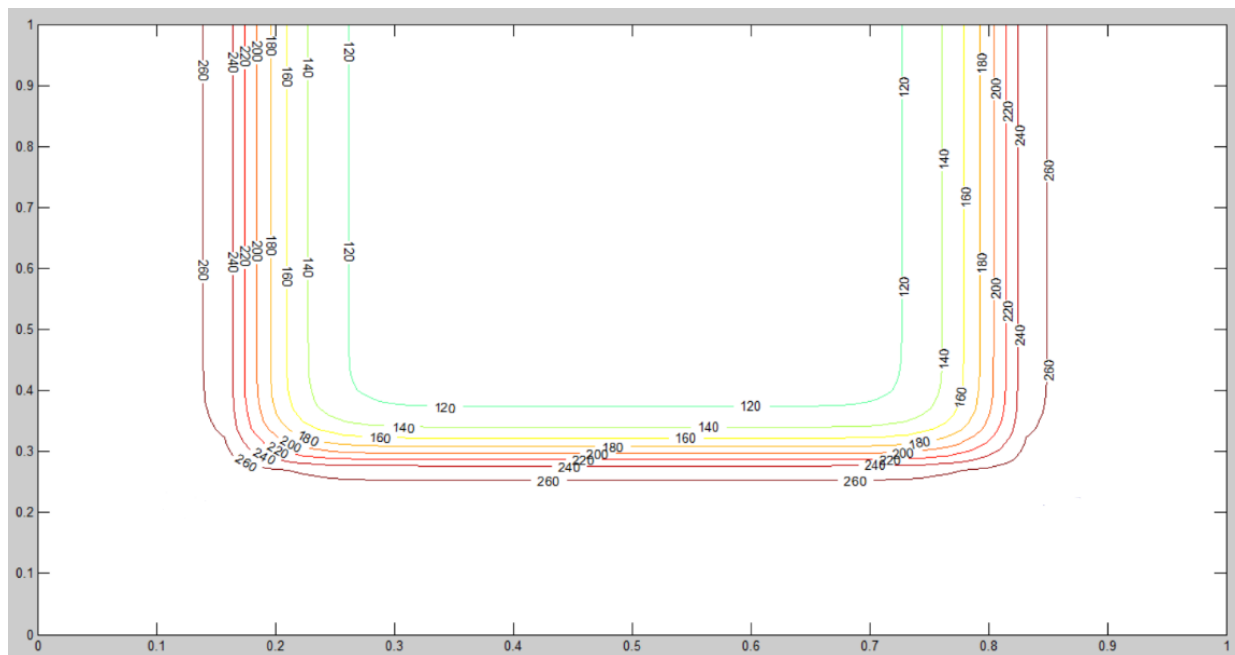


Рисунок 21 – Температурное поле в системе «*грунт-комбинированный слой из стеклопластика и бетона-СПГ*»

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БЗБ	Курточакова Дарья Дмитриевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Тариф на электроэнергию 2,36 руб.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисление в социальные фонды 30 %
3. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Планирование работ и оценка их выполнения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	2. Смета затрат на проект
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	3. Смета затрат на оборудование
	4. Анализ полученных результатов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель кафедры менеджмента	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗБ	Курточакова Дарья Дмитриевна		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела работы является технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ (НИР). Оно проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию НИР, а также уровня научно-технической результативности НИР [29].

Данная работа включает в себя создание математической модели для моделирования состояния условий промерзания грунта при хранении сжиженного природного газа в нем. При создании комплекса использовались среда программирования и отладки матричная лаборатория MatLab, работа оформлена в пакете программ Microsoft Office.

4.1 Планирование работ и оценивание времени их выполнения

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Первоначально составляется полный перечень проводимых работ, и определяется их исполнители и оптимальная продолжительность. Результатом планирования работ является график реализации проекта. Для его построения составлена перечень работ и соответствие работ своим исполнителем в таблице 2. Основные исполнители в проекте: инженер (И) и научный руководитель (НР).

В таблице 2 представлены все виды выполняемых работ и время их выполнения.

Таблица 2 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Наименование работ	Исполнители	Продолжительность работ, дни
Формулирование задачи	И (10р)	2
	НР (13р)	3
Составление задания на проект	И (10р)	3
	НР (13р)	3

Продолжение таблицы 2

Поиск и изучение литературы	И (10р)	14
Разработка календарного плана	И (10р)	2
	НР (13р)	3
Разработка общего алгоритма программного комплекса	И (10р)	21
Реализация алгоритма в среде программирования	И (10р)	28
Отладка программного комплекса	И (10р)	21
Оформление расчетно- пояснительной записки	И (10р)	14
Подведение итогов	И (10р)	7
	НР (13р)	3
Итого:	И (10р)	112
	НР (13р)	12

По данным таблицы 2 был построен график проведения работ, представленный на рисунке 22.

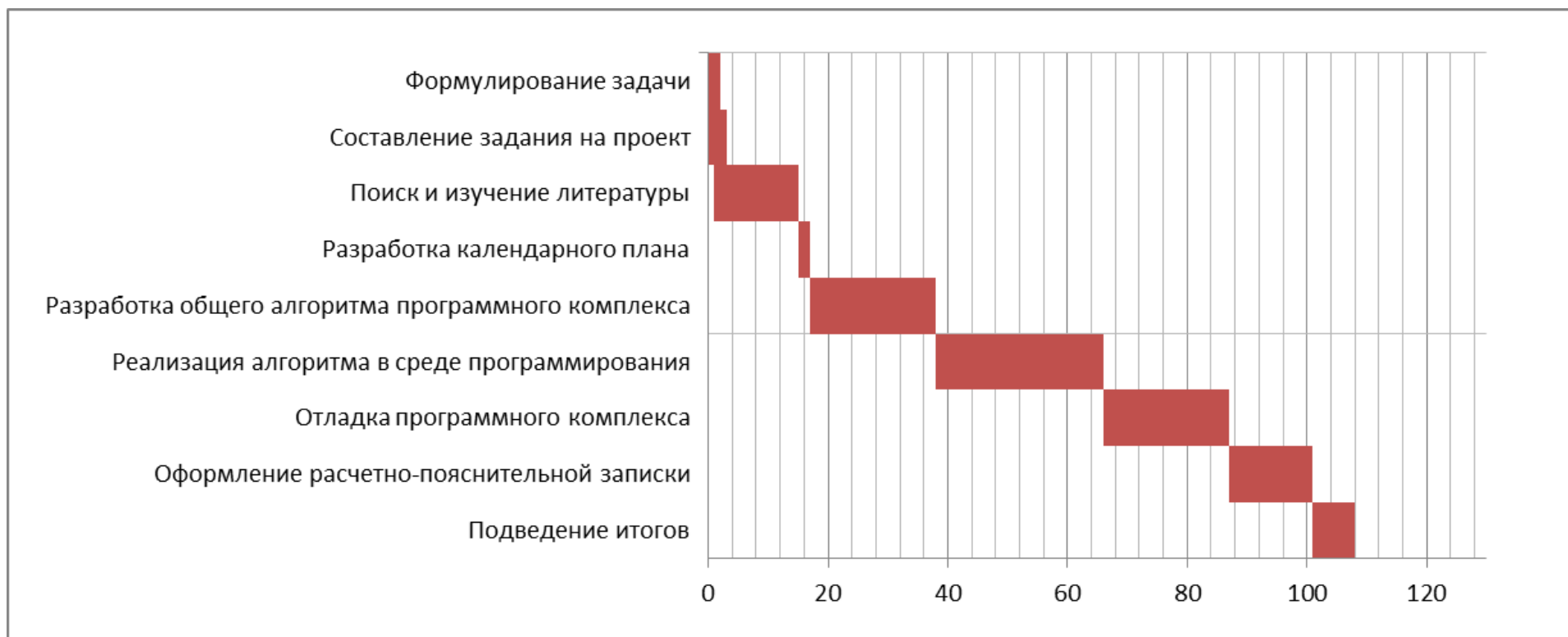


Рисунок 22 – График проведения НИ

4.2 Смета затрат на проект

Совокупность затрат на проект определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \text{ руб.}, \quad (1)$$

где $K_{\text{мат}}$ - материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ -амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ - затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$ - затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ - прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ - накладные расходы.

4.2.1 Материальные затраты

В данной работе под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские товары. Величину этих затрат принимаем $K_{\text{мат}}=1000$ руб.

4.2.2 Амортизация компьютерной техники

Амортизация показывает уменьшение стоимости компьютерной техники, на которой выполнялась работа, вследствие ее износа. Амортизация компьютерной техники рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ руб./год}, \quad (2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ - время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ - календарное время;

$C_{\text{кт}}$ - цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ - срок службы компьютерной техники.

$$K_{\text{ам}} = \frac{112}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 1841,1 \text{ руб./год}, \quad (3)$$

4.2.3 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату включают в себя выплаты инженеру, разрабатывающему проект, а также научному руководителю и рассчитываются как:

$$K_{з/пл} = 3П_{инж}^{\phi} + 3П_{нр}^{\phi} \text{ руб,} \quad (4)$$

где $3П_{инж}^{\phi}$ - фактическая заработная плата инженера,

$3П_{нр}^{\phi}$ - заработная плата научного руководителя.

Месячный оклад:

$$3П_{инж}^м = 3П_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб;} \quad (5)$$

$$3П_{нр}^м = 3П_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 19500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 27885 \text{ руб,} \quad (6)$$

где $3П_{инж}^м$ -месячная заработная плата инженера;

$3П_{нр}^м$ - месячная заработная плата научного руководителя;

$3П_0$ - месячный оклад (инженер 17000 руб., научный руководитель 30000 руб.);

K_1 – коэффициент учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

K_2 - районный коэффициент, равен 1,3 (30%).

Фактическая заработная плата:

$$3П_{\phi} = \frac{3П_{мес}}{21} \cdot n^{\phi} \text{ руб,} \quad (7)$$

где $3П_{мес}$ - месячная заработная плата;

21- среднее число рабочих дней в месяце;

n^{ϕ} - фактическое число дней в проекте.

$$\text{Инженер: } 3П_{инж}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 112 = 129653,3 \text{ руб.} \quad (8)$$

$$\text{Научный руководитель } 3П_{нр}^{\phi} = \frac{27885}{21} \cdot 12 = 15934,3 \text{ руб.} \quad (9)$$

$$K_{з/пл} = 15934,3 + 129653,3 = 145587,6 \text{ руб.} \quad (10)$$

4.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату, они включают в себя отчисления в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования.

$$K_{соц/н} = K_{з/пл} \cdot 0,3 \text{ руб.} \quad (11)$$

$$K_{\text{соц/н}} = 145587,6 \cdot 0,3 = 43676,3 \text{ руб.} \quad (12)$$

4.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1 \text{ руб.} \quad (13)$$

$$K_{\text{пр}} = (1000 + 1841,1 + 145587,6 + 43676,3) \cdot 0,1 = 19210,5 \text{ руб.} \quad (14)$$

4.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2 \text{ руб.} \quad (15)$$

$$K_{\text{накл}} = 145587,6 \cdot 2 = 291175,2 \text{ руб.} \quad (16)$$

В таблице 3 представлена смета затрат на проект.

Таблица 3 – Смета затрат на проект

№ п/п	Элементы затрат	Стоимость, руб
1	Материальные затраты	1000
2	Амортизация компьютерной техники	1841,1
3	Затраты на заработную плату	145587,6
4	Затраты на социальные нужды	43676,3
5	Прочие затраты	19210,5
6	Накладные расходы	291175,2
Итого:		501833,7

4.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

Оценим затраты на материалы. К данной статье расходов относится стоимость материалов покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по средней рыночной стоимости на 2017 год по соответствующим ценникам [41-42]. Затраты на оборудование приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование	Цена за ед., руб.	Количество, шт.	Сумма, руб.
Офисная техника				
1	Компьютер	30000	1	30000
Офисная мебель				
2	Стол	2000	1	2000
3	Стул	700	1	700
Программное обеспечение				
4	MatLab R2014b	2 337,66	1	2 337,66
5	Microsoft Office 2010	21000	1	21000
Итого		56037,7		

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 10 % от суммы затрат на технические средства:

$$I_{\text{монт}} = 0,1 \cdot I_{\text{обор}} \text{ руб.}, \quad (17)$$

где $I_{\text{обор}}$ - затраты на оборудование.

$$I_{\text{монт}} = 0,1 \cdot 56037,66 = 5603,8 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты на оборудование, монтажные работы и транспортировку:

$$I_{\text{итог}} = I_{\text{обор}} + I_{\text{монт}} = 56037,7 + 5603,8 = 61641,5 \text{ руб.}$$

4.4 Анализ полученных результатов

Изучение промерзания грунта в хранилищах сжиженного природного газа (СПГ) имеет большое значение при моделировании и оптимизации физических процессов, связанных с хранением и транспортировкой СПГ. В данной работе создан вычислительный комплекс для моделирования условий промерзания грунта в хранилище СПГ.

Полученные новые численные результаты могут быть использованы для совершенствования существующих методик расчета теплового состояния хранилищ СПГ, а также позволят прогнозировать оптимальный режим их эксплуатации. Разработанная математическая модель может быть применена для определения параметров теплового режима хранилища СПГ.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БЗБ	Курточакова Дарья Дмитриевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	Теоретической и промышленной теплоэнергетики
Уровень образования	Бакалавр	Направление	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования	Экспериментальное и теоретическое исследование фазовых превращений льда в высокотемпературной газовой среде.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования. 1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.	– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства). – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты).
2. Экологическая безопасность.	– анализ возможного воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ возможного воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	– анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований; – анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Василевский М.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗБ	Курточакова Дарья Дмитриевна		

5 Социальная ответственность

Социальная ответственность – принцип, который должен лежать в основе бизнеса для обеспечения благополучия общества, а не только для максимизации прибылей. В большей части годовых отчетов корпораций обычно указывается, что сделано компанией для продолжения образования, помощи национальным меньшинствам, сколько средств передано сфере искусства и ведомствам социальной помощи, а также направлено на улучшение социальных условий в целом. Концепция социальной ответственности используется инвесторами при выборе компаний, наиболее подходящих их сотрудникам, не загрязняющих окружающую среду и не производящих оружия, а изготавливающих нужную людям продукцию. Социальная ответственность подразделяется на индивидуальную и корпоративную. Корпоративная социальная ответственность — это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества, возлагая на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны общественной сферы, а индивидуальная возлагает на себя ответственность за деяние одного человека.

К социальным вопросам на производстве относятся работы по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях.

Охрана труда - система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Главной задачей охраны труда, является создание условий для безопасной трудовой деятельности человека, т.е. создание таких условий труда, которые исключают воздействия вредных факторов производства на рабочих.

При выполнении выпускной квалификационной работы (ВКР) большую часть времени приходилось проводить в классе 48–ой аудитории 4–го корпуса за выполнением расчетов и набором текста на компьютере. В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с охраной труда и техникой безопасности людей работающих компьютерной лаборатории.

По степени воздействия на организм человека отрицательные внешние факторы можно разделить на опасные и вредные. При работе в помещениях, в которых находятся вычислительная техника могут встречаться следующие опасные факторы: поражение электрическим током и возникновение пожара. Вредные факторы, окружающие человека в данной лаборатории:

- повышенная запыленность, повышенный уровень шума;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенная или температура воздуха рабочей зоны;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны повышенная яркость света;
- пониженная контрастность согласно – ГОСТ 12.0.003 – 74 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [32].

5.1 Социальная значимость

Изучение процессов теплопереноса в хранилищах сжиженного природного газа (СПГ) имеет большое значение при моделировании и оптимизации физических процессов, связанных с хранением и транспортировкой СПГ. Увеличение количества хранилищ и объемов производства СПГ и неотложность проблем охраны окружающей среды приводят к тому, что возникает необходимость знать о том, что может привести к аварии на больших хранилищах СПГ и вовремя предотвратить

это. Таким образом, изучение процессов тепло- и массопереноса в различных хранилищах СПГ сложно переоценить.

В данной работе создан вычислительный комплекс для моделирования промерзания влажного грунта при хранении СПГ.

Полученные новые численные результаты могут быть использованы для совершенствования существующих методик расчета теплового состояния грунта, в котором находятся резервуары с СПГ, а также позволят прогнозировать оптимальный и наиболее выгодный режим их эксплуатации. Разработанная математическая модель может быть применена для определения параметров влажного грунта. При этом могут быть учтены тепловые характеристики материалов теплоизоляционных конструкций.

5.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

5.2.1 Воздействие электромагнитного поля на оператора ПЭВМ

Электромагнитное поле (ЭМП) создается магнитными катушками отклоняющей системы, находящимися около цокольной части электроннолучевой трубки монитора. ЭМП обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека.

Биологическое воздействие ЭМП зависит от длины волны, интенсивности, продолжительности режимов воздействия, размеров и анатомического строения органа, подвергающегося влиянию ЭМП. Механизм нарушений, происходящих в организме под влиянием ЭМП, обусловлен их специфическим действием.

Специфическое воздействие ЭМП обусловлено биохимическими изменениями, происходящими в клетках и тканях. Наиболее чувствительными являются центральная и сердечно-сосудистая система.

Тепловое воздействие ЭМП характеризуется значительным умственным напряжением и нервно-эмоциональной нагрузкой, высокой напряженностью зрительной работы и достаточно большой нагрузкой на

мышцы рук при работе с клавиатурой ЭВМ. Большое значение имеет рациональная конструкция и расположение элементов рабочего места, что важно для поддержания оптимальной работы.

В процессе работы с компьютером необходимо соблюдать правильный режим труда и отдыха. В противном случае у персонала отмечаются значительное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворенность работой, головные боли, раздражительность, нарушение сна, усталость и болезненные ощущения в глазах, в пояснице, в области шеи и руках, возможное повышение температуры тела. Некоторые органы и ткани человека, обладающие слабо выраженной терморегуляцией, более чувствительны к облучению (мозг, глаза, почки, кишечник).

Влияние электромагнитных излучений заключается не только в их тепловом воздействии. Микропроцессы, протекающие в организме под действием излучений, за ориентации их параллельно электрическим силовым линиям, что может приводить к изменению свойств молекул; особенно для человеческого организма важна поляризация молекул воды.

Таким образом, степень воздействия ЭМП на организм человека зависит от интенсивности облучения, длительности воздействия и диапазона частот.

Длительное и систематическое воздействие на человека полей вызывает:

- повышенную утомляемость;
- головную боль;
- сонливость и т.д.

На территории Российской Федерации действуют СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования персональным электронно-вычислительным машинам организации работы» [33], который устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к персональным электронно-вычислительным машинам (ПЭВМ) и условиям труда.

Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ приведены в таблице 5.

В соответствии этим используются такие меры организационного характера:

1) Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

2) Работа на ЭВМ не более 6 часов в день с перерывами через 1 час.

Таблица 5 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

В зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе с ПЭВМ устанавливается суммарное время регламентированных перерывов. В таблице 6 представлено суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ.

Таблица 6 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, ч	при 8 часовой смене	при 12 часовой смене

Продолжение таблицы 6.

I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы:

1) группа А – работа по считыванию информации с экрана ВДТ с предварительным запросом;

2) группа Б – работа по вводу информации;

3) группа В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к разным видам трудовой деятельности, за основную работу с ПЭВМ следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с ПЭВМ, которые определяются: для группы А – по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 за смену; для группы Б – по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40 00 знаков за смену; для группы В – по суммарном времени непосредственной работы с ПЭВМ за рабочую смену, но не более 6 ч за смену.

5.2.2 Освещение

Одним из элементов, влияющих на комфортные условия работающих, является освещение. К нему предъявляются следующие требования:

- соответствие уровня освещенности рабочих мест характеру выполняемой работы;

- достаточно равномерное распределение яркости на рабочих поверхностях в окружающем пространстве;

- отсутствие резких теней, прямой и отраженной блеклости;

- постоянство освещенности по времени;

- оптимальная направленность излучаемого осветительными приборами светового потока;
- долговечность, экономичность, электро- и пожаробезопасности, эстетичность, удобство и простота в эксплуатации.

В соответствии с задачами зрительной работы помещение относится к I группе, т.е. помещения, в которых производится различение объектов зрительной работы при фиксированном направлении линии зрения. Нормирование значения освещенности рабочей поверхности для данной группы составляет 300 лк – согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. «Гигиенические требования естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых общественных зданий» [34]. Это значение достигается применением совместного освещения, т.е. недостаточное естественное (через оконные проемы) дополняется искусственным (с помощью люминесцентных ламп).

Естественное освещение – обуславливается световым потоком прямых солнечных лучей и диффузионным светом неба, т.е. многократным отражением солнечных лучей от мельчайших взвешенных в атмосфере частиц пыли и воды. Величина такого освещения изменяется как в течение года, так и в течение суток. Изменения в течение суток зависят от географических координат, расположения других зданий, месторасположения объекта, времени суток, прозрачности воздуха, облачности и других характеристик окружающей среды.

Естественное освещение характеризуется тем, что создаваемая освещенность изменяется в широких пределах, которые зависят от времени года, суток, метеорологических условий. Поэтому естественное освещение нельзя задать количественно. В качестве нормированной величины для естественного освещения используют коэффициент естественной освещенности (КЕО), который представляет собой отношение освещенности в данной точке внутри помещения к значению наружной освещенности, полностью открытого небосвода. Нормирование этого коэффициента

определяется по таблице с учетом характера зрительной работы, системы освещения, района расположения объекта. Кроме количественного показателя КЕО используют качественный показатель – неравномерность естественного освещения. Для естественного освещения с размером объекта 0,15 мм естественное освещение находится в пределах 3 – 10 %.

В России нормируется еще один качественный показатель освещения – коэффициент пульсации освещенности. Нормирование этого показателя также потребовалось в связи с повсеместным внедрением газоразрядных источников света, так как у излучения ламп накаливания пульсации весьма незначительны и каких-либо неудобств от их существования люди не испытывали. Установлено, что глубина пульсации освещенности на рабочих местах не должна превышать 20%, а для некоторых видов производства – 15%.

5.2.3 Микроклимат помещения

Микроклимат помещений для легкой категории работ включает определенную температуру и влажность. Нормы метеорологических условий учитывают время года и характер производственного помещения. В таблице 7 приведены нормы метеоусловий для категорий работ по тяжести Ia в соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [35].

Таблица 7 – Нормы метеоусловий

Холодный период года ниже +10, °С						Теплый период года +10, °С					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
22-24	40-60	0,1	19-26	15-75	0,1	23-25	40-60	0,1	20-29	15-75	0,1

Метеорологические условия для рабочей зоны производственных помещений регламентируются ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [36] и СанПиН 2.2.4.548 –96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [35].

Рассматривая вопросы охраны труда людей, работающих в компьютерной лаборатории, нельзя обойтись без рассмотрения вопроса вентиляции помещения. Вентиляция предназначена для создания на рабочем месте нормальных метеорологических и гигиенических условий за счет организации правильного воздухообмена.

Проанализировав имеющуюся в помещении вентиляцию можно сказать, что:

- 1) по способу перемещения воздуха она является естественной неорганизованной;
- 2) по назначению она осуществляет удаление (вытяжку) воздуха из помещения;
- 3) по месту действия она является общеобменной.

Количество приточного воздуха при естественном проветривании должно быть не менее $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека, при объеме помещения приходящегося на него менее 20 м^3 , что не выполняется. Следовательно, следует либо применить другой тип вентиляции, например, принудительную, либо устанавливать кондиционеры.

Кроме того, допустимые нормы по запыленности должны соответствовать санитарным нормам для ПДК веществ 4-ого класса опасности, и поддерживаются созданием соответствующих устройств вентиляции и влажной ежедневной двухразовой уборкой пола помещения определяется ГН 2.2.5.1313 – 03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [37].

5.2.4 Источники шума

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения и центральная система вентиляции ЭВМ. Допустимый уровень шумов для помещений компьютерных залов 50 дБ определяется СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки» [38] по шкале А шумомера – согласно ГОСТ 12.1.003 –83 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [39].

Защитой от шумов является заключение вентиляторов в защитный кожух и установка внутрь корпуса ЭВМ.

5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

5.3.1 Безопасность при работе на ПЭВМ

Электрические установки – это большая потенциальная опасность для человека.

Специфическая опасность электроустановок в следующем: токоведущие проводники, корпуса стоек ЭВМ и прочего оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые предупреждали бы об опасности. Реакция человека на электрический ток возникает лишь при протекании тока через тело.

Для предотвращения электротравматизма большое значение имеет правильная организация обслуживания действующих установок.

Во время работ в электроустановках для предупреждения электротравматизма очень важно проводить соответствующие организационные и технические мероприятия.

Организационные мероприятия:

- оформление работ нарядом или устным распоряжением;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;

- оформление перерыва в работе;
- переводов на другое рабочее место;
- окончания работы.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ снятием напряжения:

- отключение оборудования на участке, выделенном для производства работ и принятием мер против ошибочного или самопроизвольного включения;
- ограждение при необходимости рабочих мест и оставшихся под напряжением токоведущих частей;
- вывешивание предупреждающих плакатов и знаков безопасности;
- проверка отсутствия напряжения;
- наложение заземления.

Особые требования предъявляются к обеспечению электробезопасности пользователей, работающих на персональных компьютерах. К их числу относятся следующие:

- все узлы одного персонального компьютера подключено к нему периферийное оборудование должны питаться от одной фазы электросети;
- корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;
- для отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный щит;
- все соединения ПЭВМ и внешнего оборудования должны производиться при отключённом электропитании.

По способу защиты человека от поражения током оборудование относится к I классу электрических изделий, т.е. к изделиям, имеющим, по крайней мере, рабочую изоляцию и заземление, т.е. все оборудование, имеет защитную изоляцию, заземление – согласно ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [40].

5.3.2 Пожарная безопасность

Пожар – это неконтролируемое горение во времени и пространстве: пожар наносит материальный ущерб и создает угрозу жизни и здоровью человека.

Причины возникновения пожара в компьютерной аудитории могут быть:

- неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов);
- неправильное устройство и неисправность вентиляционной системы;
- самовоспламенение и возгорание веществ;
- короткое замыкание;
- статические электричество.

В современных ЭВМ очень высока плотность размещения электронных схем. В непосредственной близости друг друга располагаются соединительные провода, коммуникационные кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 80 – 100°C. При этом возможно оплавление изоляции соединительных проводов, их оголение и, как следствие, короткое замыкание, сопровождаемое искрением, которое ведет к недопустимой перегрузки элементов электронных схем. Они, перегреваясь, сгорают, разбрызгивая искры.

Следовательно, допускается работа только на исправных установках и приборах. К работе могут допускаться лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Согласно нормам первичных средств пожаротушения ППБ 101 – 89 «Правила пожарной безопасности для общеобразовательных школ, профессионально технических училищ, школ интернатов, детских домов, дошкольных, внешкольных и других учебно- воспитательных учреждений» [41] с учетом наличия электроустановок напряжением до 1000 В, на 100 м² должны быть: один углекислотный огнетушитель типа ОУ – 2, ОУ – 5 или

ОУ – 8. Категория по пожарной опасности – В – 4 так как имеются твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыль и волокна), способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть.

Сотрудники лаборатории должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной клетки. План эвакуации представлен на рисунке 23.

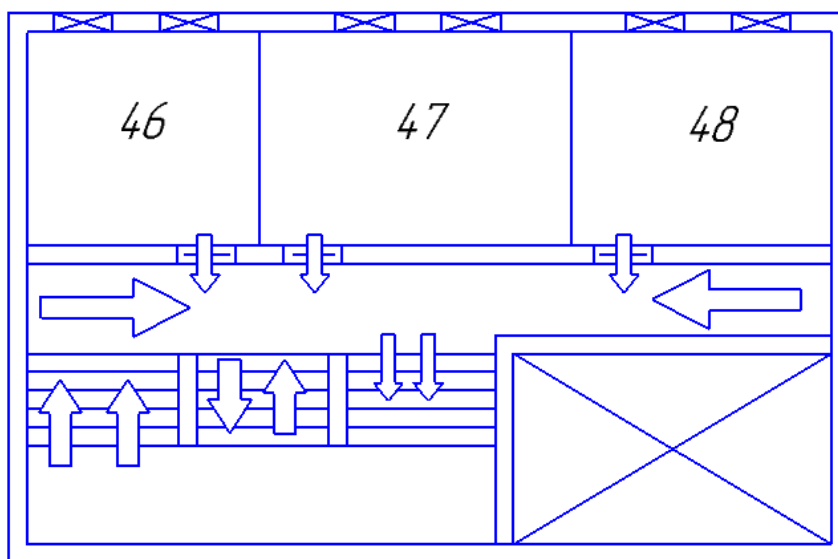


Рисунок 23 – Схема эвакуации при пожаре

5.3.3 Региональная безопасность

В помещении, в котором осуществляется процесс проектирования, используется офисная техника, в состав которой входят: компьютеры; принтеры; сканеры. Она относится к классу высокотехнологичных изделий.

При эксплуатации компьютерной техники к расходным материалам, не подлежащим восстановлению, относятся:

- манипулятор «мышь»;
- клавиатура.

Клавиатура и манипулятор более чем на 90% состоят из пластика. Срок эксплуатации, по данным производителей, составляет примерно 5 лет.

При эксплуатации копировальной техники и принтеров остаются использованные картриджи, состоящие примерно на 90% из пластика.

Большинство моделей картриджей рассчитано на одноразовое использование и дополнительной заправке не подлежат. По окончании срока эксплуатации использованные картриджи должны передаваться на восстановление в специализированные предприятия, однако в реальной ситуации картриджи поступают в отходы.

В результате эксплуатации офиса образуются твердые бытовые отходы, в состав которых входит бумага, картон, пластик, люминесцентные лампы.

Разумным подходом к утилизации твердых бытовых отходов является организации вторичной переработки вместо вызова аппаратуры на свалки.

Таким образом, удастся получить некоторое количество ценных материалов, в пригодных для повторного использования в качестве сырья, исключая стадию их добычи или изготовления. Данный способ позволит сократить расходы производства и снизить нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения технологического цикла. Утилизация офисной техники с помощью профессионалов, позволяет обеспечить функционирование процессов материалов.

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специфика труда оператора заключается в больших зрительных нагрузках в сочетании с малой двигательной активностью, монотонностью выполняемых операций, вынужденной рабочей позой. Эти факторы отрицательно влияют на самочувствие работающего. Зрительные нагрузки связаны с воздействием на зрение дисплея. Чтобы условия труда оператора были благоприятными, снималась нагрузка на зрение, видеотерминал должен соответствовать следующим требованиям:

- экран должен иметь антибликовое покрытие;
- цвета знаков и фона должны быть согласованы между собой;
- для многоцветного отображения рекомендуется использовать одновременно 6 цветов – пурпурный, голубой, синий, зеленый, желтый, красный, а также черный и белый, так как вероятность ошибки тем меньше, чем меньше используется цветов и чем больше разница между ними, а для

одноцветного отображения – черный, белый, серый, желтый, оранжевый и зеленый. Красный и голубой цвета на границе видимого спектра применять нельзя;

– необходимо тщательное регулярное обслуживание ПЭВМ специалистами.

В СанПиН 2.2.2.542 – 96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [42] даются общие требования к организации и оборудованию рабочих мест операторов ПЭВМ.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. Высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680 – 800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности должна составлять 725 мм.

Рабочий стол должен иметь пространство для постановки ног, которое составляет: высоту не менее 600 мм, ширину не менее 500 мм, глубину – на уровне колен, не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула должна поддерживать рациональную рабочую позу при работе с ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения утомления. Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула должна быть полумягкой с нескользящим, не электризующимися и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

5.5 Выводы

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрена компьютерная лаборатория на предмет возникновения вредных (воздействие

электромагнитного поля оператора ПЭВМ, освещение, микроклимат помещения, источники шума) и опасных факторов (электробезопасность при работе на ПЭВМ, пожарная безопасность).

Нормированное значение освещенности рабочей поверхности для данной компьютерной лаборатории составляет 300 лк –согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». Это значение достигается применением совместного освещения, то есть недостаточное естественное (через оконные проемы) дополняется искусственным (с помощью люминесцентных лампа).

При работе с персональными компьютерами в лаборатории выполняются все требования, установленные СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

Также работниками соблюдаются правила безопасности. Сотрудники компьютерной лаборатории ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре.

Заключение

В рамках данного дипломного проекта было проведено теоретическое исследование промерзания влажного грунта при хранении сжиженного природного газа.

Во время выполнения данного проекта была разработана математическая модель практически в полной мере учитывающая комплекс процессов, протекающих при промерзания влажного грунта. Было исследовано влияние основных факторов (влажности грунта и тепловых характеристик изоляционного слоя резервуара) на временные характеристики процессов промерзания грунта. При этом были учтены тепловые характеристики материалов теплоизоляционных конструкций.

Полученные новые численные результаты могут быть использованы для совершенствования существующих методик расчета теплового состояния грунта, в котором находятся резервуары с сжиженным природным газом, а также позволят прогнозировать оптимальный и наиболее эффективный режим их эксплуатации.

Так же выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение». В разделе «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» составлен перечень работ и произведена оценка времени их выполнения, составлена смета затрат на проект, составлена смета затрат на оборудование и монтажные работы для реализации проекта. В разделе «Социальная ответственность» рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на человека и окружающую среду.

Список использованных источников

1. Шевчук Е.В. Хранение сжиженного природного газа и проблемы обеспечения промышленной безопасности.
2. Кириллов Н.Г. Сжиженный природный газ: анализ мирового рынка и перспективы отечественного производства / Белозерова Т.Б., Лазарев А.Н., Ярыгин Ю.Н., Дроздов Ю.В. // Журнал «Газохимия». – 2010.
3. N.G. Kirillov. Producing Natural Gas of Vehicles. //Chemical and Petroleum Engineering, May – June, 2001, 37 (5-6): pp. 334-337.
4. Кириллов Н.Г. СПГ – универсальное энергетическое топливо XXI века // Нефть, газ & СПР, 2004. – № 2. – С. 39-43.
5. Карасевич А.М., Ярыгин Ю.Н., Дроздов Ю.В. Расширение источников поставок газа при газификации регионов России // Газовая промышленность: Спецвыпуск, 640/2009. – С. 23-25.
6. Кириллов Н.Г., Лазарев А.Н., Мировые тенденции в производстве и использовании сжиженного природного газа как универсального энергоносителя и моторного топлива // Двигателестроение, 2010. – № 2. – С. 27-33.
7. Кириллов Н.Г. Рынок сжиженного природного газа: российские перспективы // Энергетика и промышленность России, 2009. – № 1. – С. 31.
8. Краснова В.С. Барьеры безопасности на хранилищах сжиженного природного газа / В.С. Краснова, В.Ф. Мартынюк // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2011. – № 1. – С. 154-161.
9. Базаров Г.Р. Изучение аппаратов и технологий хранения сжиженных природных газов / Г.Р. Базаров, С.С. Мирзаев, И. Гимранов // Наука, техника и образование. – 2016. – № 2. – С. 28-29.
10. Васильев Г.Г. Особенности обеспечения безопасной эксплуатации крупногабаритных изотермических резервуаров для хранения сжиженного природного газа / Г.Г. Васильев, С.Г. Иванцова, А.И. Рахманин // Газовая промышленность. – 2013. – № 11. – С. 57-61.

11. Воронов В.А. Обеспечение экологической и пожарной безопасности хранения сжиженного природного газа в криогенных резервуарах / В.А. Воронов, Е.А. Любин, Е.Ю. Загороднева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 5 – С. 759-767.
12. Цитович Н.А. Механика мерзлых грунтов. - М.: Высшая школа, 1973. - 448 с.
13. Сорокин А.Р., Черняк Л.М. Сжиженный метан за рубежом. - М. "Недра", 1965. - 135 с.
14. Васильев В.И., Максимов А.М., Петров Е.Е., Цыпкин Г.Г. Тепломассоперенос в промерзающих и протаивающих грунтах. – М.: Наука, Физматлит, 1996. – С. 224.
15. Терегулов Р.К. Совершенствование технологии производства хранения сжиженного природного газа. Уфа, 2009г.
16. Королев Н.С. Анализ возникновения явления «ролlover» в системах хранения сжиженного природного газа // Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVI академических чтений по космонавтике. М.: Комиссия РАН, 2012. С. 353-354
17. Королев Н.С. Математическое моделирование явления ролlover в системах хранения сжиженного природного газа // Актуальные проблемы российской космонавтики: материалы XXXVII академических чтений по космонавтике. М.: комиссия РАН, 2013. С. 383-384
18. Королев Н.С. К построению математической модели явления ролlover в хранилище СПГ // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана Электрон. журн. 2012. № 3.
19. Рахманин А.И. Обеспечение безопасности резервуаров для хранения сжиженного природного газа с учетом негативных эксплуатационных факторов – 2014
20. ПБ 08-342-00. Правила безопасности при производстве, хранении и выдаче сжиженного природного газа на газораспределительных станциях

магистральных газопроводов и автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях.

21. Пряхина В.С. Анализ аварий на объектах производства, хранения и морской транспортировки СПГ: причины возникновения и характер протекания // Материалы III международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность на взрывопожароопасных и химически опасных производственных объектах» (Уфа, 17–20 февраля 2009 г.). – Уфа, 2009. – С. 187–194.

22. Кузнецов Г.В., Шерemet М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. // Г.В.Кузнецов, М.А.Шерemet. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.

23. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. Наука, М., 1971

24. Нагорнова Т.А. Математическое моделирование процесса промерзания насыщенного влагой грунта – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.

25. Васильев В.И., Максимов А.М., Петров Е.Е., Цыпкин Г.Г. Математическая модель замерзания-таяния засоленного мерзлого грунта // Прикладная механика и техническая физика. – 1995. – Т.36, №5. –С. 816-827

26. Арутян Р.В. Интегральные уравнения задачи Стефана и их приложение при моделировании оттаивания грунта // Наука и Образование МГТУ им. Н.Э.Баумана – 2015. - №10. – С. 419 – 437

27. Полякова Л.О. Двумерная задача Стефана для переохлажденных структур: вкр. / Нац. иссл. ун-т. Москва, 2013. С.100

28. Самарский А.А., Моисеенко Б.Д. Экономическая схема сквозного счета для многофронтной задачи Стефана // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1965. –Т.36, № 5. –С. 57-66.

29. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2014. – 73 с.

30. Электронный ресурс: прайс -лист фирмы DNS, режим доступа <http://www.dns-shop.ru>
31. Электронный ресурс: прайс-лист фирмы IKEA, режим доступа <http://www.ikea.com/ru>
32. ГОСТ 12.0.003 – 74 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»
33. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.»
34. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
35. СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
36. ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
37. ГН 2.2.5.1313 – 03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
38. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».
39. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ «Шум. Общие требования безопасности».
40. ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
41. ППБ 101 – 89 «Правила пожарной безопасности для общеобразовательных школ, профессионально технических училищ, школ интернатов, детских домов, дошкольных. внешкольных и других учебно-воспитательных учреждений».
42. СанПиН 2.2.2.5542 – 96 «Гигиенические требования к видео-дисплейным терминалам, персональным электронно- вычислительным машинам и организации работы».